

「地熱発電技術研究開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--------------------------------------

—目次—

概要	概要-1
プロジェクト用語集	概要-7

I.事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDO が関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果	I-1
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-2
2.1 事業の背景	I-2
2.2 事業の目的・意義	I-2
2.3 事業の位置づけ	I-2

II.研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-2
2.1 研究開発の内容	II-2
2.2 研究開発の実施体制	II-66
2.3 研究開発の運営管理	II-76
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-84
3. 情勢変化への対応	II-84
4. 評価に関する事項	II-84

III.研究開発成果について

1. 事業全体の成果	III-1
2. 個別テーマの成果の概要	III-7

IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	IV-1
------------------------------	------

(添付資料)

添付資料 1 プロジェクト基本計画

添付資料 2 事前評価書

添付資料 3 特許論文リスト

概要

		最終更新日	平成 27 年 7 月 22 日				
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム						
プロジェクト名	地熱発電技術研究開発	プロジェクト番号	P13009				
担当推進部/担当者	<p>新エネルギー部/ 統括主幹 徳岡 麻比古 (平成 25 年 4 月～平成 25 年 5 月) 統括研究員 生田目 修志 (平成 25 年 4 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 田中 清隆 (平成 25 年 4 月～平成 25 年 6 月) 主任 安生 哲也 (平成 25 年 6 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 高橋 正樹 (平成 25 年 10 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 吉田 明生 (平成 26 年 3 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 太田 勝啓 (平成 25 年 4 月～平成 27 年 3 月) 主査 田中 順 (平成 27 年 4 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 上村 和孝 (平成 25 年 4 月～平成 27 年 1 月) 主査 田中 彰 (平成 27 年 2 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 実島 哲也 (平成 27 年 4 月～平成 27 年 8 月現在) 主査 井出本 穰 (平成 27 年 5 月～平成 27 年 8 月現在) 職員 村上 慶 (平成 27 年 1 月～平成 27 年 8 月現在)</p>						
0. 事業の概要	<p>(1) 概要:地熱資源の有効活用のための、環境配慮型高機能地熱発電システムに係る機器開発、現状未利用である低温域でのバイナリー発電システム開発、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する技術開発等により、我が国の地熱発電の導入拡大を促進する。(委託及び共同研究(NEDO 負担率 2/3))</p> <p>(2) 事業期間:平成 25 年度～29 年度(5 年間)</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>平成22年6月に「エネルギー基本計画」(事業開始時)が閣議決定され、その中で、地熱発電は2030年までに設備容量165万kW(2007年度実績 53万kW)、発電電力量103億kWh(2007年度実績 30億kWh)の導入拡大が掲げられている。</p> <p>2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。</p> <p>我が国における地熱資源の有効活用に向けて、導入ポテンシャルの高い自然公園内での開発が重要とされており、環境省において、第2種特別地域、第3種特別地域における地熱開発の規制が緩和された。しかしながら、自然公園内での新規地熱発電所建設を行う場合、依然として、小規模で風致景観等への影響が小さいものが求められることから、環境に配慮した取り組みが必要不可欠となっている。</p> <p>また、近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大が期待されている。</p> <p>さらに、環境保全対策や新規の地熱発電所建設に係る環境アセスメントの円滑化に資する技術開発を行い、地熱開発を促進する取り組みを行うことが重要である。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>中間目標(平成27年度) 平成28年度以降継続するテーマについては個別に中間目標を定めている。</p> <p>最終目標(平成29年度) ポテンシャルの高い地域への地熱発電の導入拡大を目的とし、既存の発電設備よりも、小型化・高効率化の地熱発電システムの機器開発及び低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムを開発すると共に、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する取り組みを行う。なお、公募により研究開発実施者を選定後、目標の具体化等を行うこととする。</p> <p>(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発 地熱発電システムの小型化に資する技術(冷却塔高さを10m以下に低減する技術、敷地面積を1割程度低減する技術、熱効率を20%以上に向上させる技術等)を確立する。</p> <p>(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発 未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。</p> <p>(3) 発電所の環境保全対策技術開発 ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	
	(1) 環境配慮型高機能地熱発電						→

	電システムの機器開発						
	(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発						
	(3) 発電所の環境保全対策技術開発						
	(4) 地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発						
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	特別会計(需給)	182	619				801
	総予算額	182	619				801
	(委託)	75	455				530
	(共同研究) :負担率 2/3	107	164				271
開発体制	経産省担当原課 プロジェクト リーダー	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課 —					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「地熱複合サイクル発電システムの開発」 株式会社東芝 <p>(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化」 アネスト岩田株式会社 ・「炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発」 国立大学法人東京海洋大学 株式会社エディット 国立大学法人横浜国立大学 国立大学法人長崎大学 ・「温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発」 アドバンス理工株式会社 (平成 26 年 12 月、アルバック理工株式会社から名称変更) 株式会社馬淵工業所 ・「スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発」 京葉プラントエンジニアリング株式会社 ・「環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発」 国立大学法人東京大学 旭硝子株式会社 ・「水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発」 一般財団法人エネルギー総合工学研究所 株式会社アーカイブワークス 国立大学法人東京大学 <p>(3) 発電所の環境保全対策技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発」 日揮株式会社 学校法人明星大学 ・「地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発」 一般財団法人電力中央研究所 ・「温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発」 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地熱エンジニアリング株式会社 					

		<ul style="list-style-type: none"> ・「エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発」 清水建設株式会社 株式会社風景デザイン研究所 学校法人法政大学 (4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発 ・「低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発」 株式会社超電導機構 国立大学法人大阪大学 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ・「地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発」 一般財団法人電力中央研究所 国立大学法人富山大学 ・「電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発」 イノベティブ・デザイン&テクノロジー株式会社 国立大学法人静岡大学 ・「地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)」 地熱技術開発株式会社 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エヌケーケーシームレス鋼管株式会社 ・「温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発」 国立大学法人東北大学 東北特殊鋼株式会社 株式会社テクノラボ ・「バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケールリング法の研究開発」 国立大学法人秋田大学 株式会社管通 国立大学法人東北大学 国立大学法人東京海洋大学
情勢変化への対応	平成 26 年 4 月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても地熱発電は、発電コストも低く、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源として位置づけられており、重要なテーマであるとの認識のもと、平成 26 年度には追加公募を 2 回実施した。また、「研究開発項目」の再構築・拡充に取り組むべく、「NEDO 地熱発電技術研究開発の今後の進め方に関する検討委員会」を設置し、議論を行っている。	
中間評価結果への対応	—	
評価に関する事項	事前評価	平成 24 年度実施 担当部 新エネルギー部 平成 24 年度 NEDO POST3 実施
	中間評価	—
	事後評価	—
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>地熱発電技術研究開発</p> <p>1) 中間目標 (平成 27 年度) 平成28年度以降継続するテーマについては個別に中間目標を定めている。</p> <p>2) 最終目標 (平成29年度) ポテンシャルの高い地域への地熱発電の導入拡大を目的とし、既存の発電設備よりも、小型化・高効率化の地熱発電システムの機器開発及び低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムを開発すると共に、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する取り組みを行う。なお、公募により研究開発実施者を選定後、目標の具体化等を行うこととする。</p> <p>(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発 地熱発電システムの小型化に資する技術(冷却塔高さを 10m 以下に低減する技術、敷地面積を 1 割程度低減する技術、熱効率を 20%以上に向上させる技術等)を確立する。</p> <p>(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発 未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率 7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。</p> <p>(3) 発電所の環境保全対策技術開発 ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。</p> <p>3) 全体の成果 (平成 27 年度末)</p> <p>(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発 地熱複合サイクル発電システムの開発は、目標である熱効率20%以上を達成できるシステム設計を完了した。</p> <p>(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発</p>	

平成27年度末で終了予定のテーマについては、熱効率7%以上、あるいは、メンテナンス間隔を1.5倍に延長を達成見込みである。

(3) 発電所の環境保全対策技術開発

拡散シミュレーション技術等を確立見込みである。

4) 個別テーマの成果

(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

(1.1) 地熱複合サイクル発電システムの開発

低沸点媒体の要求性能と新旧媒体の比較および熱サイクル効率ポテンシャルの比較から、複合サイクルに適する低沸点媒体を選定した。

井戸条件および各要素機器の運転条件をパラメータまたは制約条件として、上記低沸点媒体を用いたシステムの最適化を行い、熱効率20%へ到達する複合サイクルのヒートバランスを構築した。他の発電方式と比較し、優位となる条件を推測した。

構築したヒートバランスに基づき、バイナリータービンの通路部性能を検討し、軸シールシステム設計した。それら結果を元にバイナリータービン計画図を作成した。そのヒートバランスに従って、上記低沸点媒体の特性に応じた各種熱交換器を計画した。

2種のスケール抑制手法を検討した結果、カルシウム結合剤とシリカ分散剤を用いる手法を選定し、それら薬剤添加によるスケール抑制効果を確認した。

目標である熱効率20%以上を達成できるシステム設計を完了した。

(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

(2.1) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化

地熱資源活用に適した小型バイナリー発電システムを調査し、設計コンセプトを確立した。また、バイナリー発電システムにおけるスクロール膨張機の単体試験を実施するとともに、1次試作機を製作して実際の温泉熱を使った環境での評価試験を開始した。さらに、スクロール膨張機のトライボシステムの開発では、スクロール膨張機の摺動材を摩耗試験機で評価し、最適材料候補を絞り込んだ。

(2.2) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発

スケール付着を抑制する材料開発を行った。種々材料のスケール付着性を評価するために炭酸カルシウムスケール付着加速試験装置を作製した。その評価試験法において、炭酸カルシウムスケールの初期付着量を75%削減する材料の創製に成功した。

実地環境で、炭酸カルシウムスケール付着箇所と付着条件を把握し、スケール形成機構をモデル化した。また、スケールと伝熱性能の関係性を評価した。スケール付着に関与する物理因子を整理した。開発材を実地環境で試験して、実用化の見通しを得た。

(2.3) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発

宮城県 鳴子温泉と長崎県 小浜温泉で配管と熱交換器へのスケール付着試験を行った。各々のスケール定性分析の結果から、スケール付着防止効果とコストを両立する熱交換器を試作し、実証試験を開始した。

また、スクロール型膨張機を搭載した蒸気発電機を試作し、実験室の性能試験でほぼ設計通りの性能が得られた。それを受けた長崎県小浜温泉での蒸気発電システム実証試験では、試作した気水分離器の気液分離効果を検証し、源泉を用いた蒸気発電機の発電確認を前倒しで完了した。

これら結果から、温泉水発電と蒸気発電のハイブリッド発電では、温泉水と蒸気の流量割合を制御して発電出力を最大化することで目標効率達成の見通しを得た。

(2.4) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

高効率温泉バイナリー発電を実現するための、スケール除去フラッシュタンク、高効率蒸気/冷媒熱交換器、低圧蒸気制御システム、小型蒸発式凝縮器を開発し、製作した。

(2.5) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

流体の熱物性値に対する指針獲得のための熱交換器シミュレーション手法を構築した。また、低沸点流体の伝熱性能評価のための疑似バイナリーシステムの構築に向けた予備実験を実施し、新設実験装置の設計を完了した。さらに、新しいバイナリー発電用熱交換器構造を検討するための2相流解析手法を構築した。

(2.6) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

20kW級発電装置において、システム送電端で発電効率6%以上を達成するための蒸発器、及び凝縮器の流動条件を決定し、これを反映させた数理モデルを構築した。温排水を利用する発電装置の設置地点を選定し、既存配管における温水および冷却水の温度および流量とその変動状況を調査し、発電装置への温水および冷却水の供給システム実現可能性について見通しを得た。

(3) 発電所の環境保全対策技術開発

(3.1) 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発

国内の地熱発電所の硫化水素放散に関する環境影響評価等の先行事例を調査し、予測上考慮すべき因子を抽出し、数値モデル構築に当たり考慮すべきパラメータ等を明確化した。次に抽出した硫化水素拡散挙動影響因子の影響を考慮して、CFDの汎用コードを用いて数値モデルを構築し、地勢データの取り込みから拡散計算結果の導出までの一連の計算作業が可能であることを確認した。また、開発モデル検証のために実施する風洞実験計画を策定した。

(3.2) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発

地熱発電所に係る環境アセスメントにおける排ガス拡散予測評価のための風洞実験の代替として用いることができる硫化水素拡散予測数値モデルの開発に取り組み、簡易予測数値モデルおよび詳細予測数値モデルの二種類の硫化水素拡散予測数値モデルを作成した。正規分布型ブルーム式に基づき濃度予測を行う簡易予測数値モデルの開発では、基本拡散式のプログラミングおよび地理情報システム(GIS)と結合するためのインターフェースの設計・開発を行い、排出諸元の設定や標高データの入力、風向・風速などの各種計算条件の設定などをグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)により簡便に行うことができる見通しを得た。また、3次元数値流体力学(CFD)モデルにより濃度予測を行う詳細予測数値モデルの開発では、用いる乱流モデルや計算格子生成システムに関する検討を行い、地形周りの気流場および拡散場を十分な精度で再現できる見通しを得た。

(3.3) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

配管、泉質、給湯方式等温泉の利用状況に関する現状調査を行うとともに、センサ、マイコン、データ通信等に関する現状調査を実施し、これらの成果をもとにプロトタイプ機を試作した。また、本装置評価のための実験装置を設計・製作した。

(3.4) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

既存の地熱発電所について、現地調査や文献による調査を実施し、それぞれの発電所で実施されている自然環境・風致景観配慮について、地熱開発事業者が活用しやすい成果物(パタン集)として取りまとめた。

自然環境や景観の分析手法(手順、分析内容)を明確化すると共に、これらの分析に基づきエコロジカル・ランドスケープを適用するためのプロセスについて整理した。

ケーススタディに適用可能な、エコロジカル・ランドスケープ支援アプリの試用版を開発にむけ、要求要件定義の明確化した。

(4) 地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

(4.1) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

地熱水中のシリカ成分を低減させるため、前処理および磁気分離装置の設計と試作を行い、その評価試験を実施し、その低減が可能であることが示した。また、北海道・東北・関東・九州地方の33個の温泉地について現地調査を実施し、うち9個の温泉地で温泉発電時におけるスケール発生の可能性を推量した。

5t/hの処理能力の性能評価試験を完了した。コスト面等から適正な処理容量と見込まれる装置は10t/hの処理能力の磁気分離装置であることがわかった。

(4.2) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発

バイオマス、燃料電池排熱、太陽熱等を外部熱源とするハイブリッド熱源発電システムについて成立性評価を実施し、バイオマスを外部熱源とするシステムにおいて、バイオマス種によっては発電効率が高く、発電原価がFIT価格を下回るなど、同出力規模のバイオマス専焼発電システムに対する優位性を示した。また、本事業にて開発している光ファイバーを用いたスケールセンサについて室内試験、および実際の地熱発電所における加速試験を実施し、炭酸カルシウムおよびシリカスケールのセンサへの付着量に応じたセンサの透過率の減衰を確認した。

(4.3) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発

平成26年度に行った無隔膜式電解スケール除去装置の予備・実証試験により、地熱水および地熱スケールに対する電解水の有効性を確認した。スケールの溶解性を確認することで、有隔膜式電解スケール除去装置の有効性を見通しを得た。さらに、スケール除去の要因と推察するイオン輸送モデルを構築した。この結果、イオン輸送現象の一つである電気透析の理論解と実験データを比較し良好な一致が得られることを確認した。これにより、スケール析出・溶解メカニズムのモデリングについての見通しを得た。

(4.4) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)

リスク評価システムの開発を実施し、国内事例/海外事例の整理を行い、概念設計と複数の実証試験候補地点の選定を完了した。腐食・浸食・スケール付着予測技術の開発を実施して、地化学反応モジュール(EXCELベース)を製作し、既存三次元流体シミュレーションの検証を実施して、基本設計を完了した。地熱腐食・スケールについて、既存の材料腐食報告書、及び関連論文164件を収集し、データベースシステムの設計を完了した。材料選定の研究開発を実施し、既存事業者からの聞き取り調査21件、新規情報37件の収集を完了した。プラントリスク評価システムのためのモニタリング技術開発により計測機器設計を完了し、モニタリング手法の抽出と試験における課題を整理した。地熱発電プラントリスク評価実証試験の検討を実施

	<p>して、実証試験装置設計を完了した。</p> <p>(4.5) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発 スケール対策の年間運用コストを、従来の浚渫もしくは薬注による対策コストと比較し20%以上低減することを目標として、超音波及び電磁処理のハイブリッドスケール防止装置とその運用方法体系化に係る技術開発を実施し、H26年度までに複合処理効果確認のための基礎的実験系の構築、実験及び実証試験のための高周波電源プロトタイプ製作、温泉源泉の現地調査、及び水質等のデータベース構築を行い、高周波電源プロトタイプ開発、国内10か所の現地調査、過去の電磁処理導入事例から500件のデータベース化等の目標を達成した。今後、複合処理効果等のデータ取得を行い、超音波処理における使用周波数等の検討、発信部の耐熱等の耐久化を図ることで、当初最終目標以上の成果を達成できる見通しを得た。</p> <p>(4.6) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発 開発中のメカニカルデスケーリング法の経済性及び実用化後の波及効果の評価、スケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析、モニタリング装置開発のためのスケール付着状況計測の試験装置の準備及び基礎データの収集、並びにスケール除去装置の小規模な試作機開発を実施した。以上の研究開発の結果、新手法が将来的に経済的導入可能性の見込みがあること、鉱物学的・結晶学的見地からデスケーリング装置の設計指針を作成すること、非破壊で外部からスケール付着厚さを測定可能であることを示すとともに、温泉熱水蒸気二相流中でのデスケーリング実験成功の成果を達成した。今後、同装置の実用化において重要となる耐熱性及び耐久性等の課題の解決に向けて、室内実験や現地実証実験で得られた知見に基づき改善したデスケーリング装置を開発することで、最終目標を達成できる見通しを得た。</p>	
	投稿論文	「査読付き」1件、「その他」2件
	特許	「出願済」5件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願0件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」49件、「新聞・雑誌等への掲載」3件、「展示会への出展等」4件
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>本実証事業における「実用化」とは、当該研究開発において開発した発電システムやスケール対策、各種 IT ツールなどの開発技術が、利用者へ商用に提供されること。開発している発電システムの商用システムとしての運転、開発技術の利用者への提供開始に向けて取り組んでいる。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 25 年 4 月 作成
	変更履歴	なし

プロジェクト用語集

用語	説明
熱交換器	熱を異なる2つの熱媒に移動させるための設備。
フラッシュ方式(蒸気発電方式)	地熱貯留層にある約200~350℃の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回して発電する方式である
バイナリー方式	一般的に80~150℃の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回して発電する方式
生産井	地熱貯留層から蒸気や熱水を取り出すための井戸
還元井	汽水分離器で分離された熱水を地下に戻すための井戸
汽水分離器(フラッシュャー)	熱水とともに出てきた蒸気を分離して取り出す装置
冷却塔	冷却水を冷却するための装置。豊富な冷却水を得ることが難しい発電所に採用される。
復水器	タービン排気を冷却して水に戻す装置。地熱発電所では凝縮水をボイラへ給水する必要が無いので直接接触式の復水器が採用されている。
蒸発器	液体を加熱して蒸気を発生させる装置
凝縮器	蒸気を冷却して液体にする装置
スケール	地熱流体から配管等への析出物で、シリカ、炭酸カルシウム、硫化鉱物などがある。流体温度や圧力が急速に変化したり、流体混合があったり、溶存ガスの離脱により、溶存成分が過飽和になりスケールが発生する。スケールの付着は熱交換器における熱交換効率の低下や、配管閉塞等の問題を引き起こすため、定期的な除去作業、析出抑制剤の利用などの対策が必要となる。
スクロール型	一対のうず巻き形をした固定スクロールと可動スクロールとで構成されているもの。
腐食(コロージョン)	金属などが使用環境との化学反応によって失われていく状態。
浸食(エロージョン)	砂粒等の固体粒子、流水中の空気泡の崩壊時の衝撃圧力等により金属などの表面が機械的に微粒に破壊されていく状態。
エンタルピー	エネルギーの次元を持ち、物質の発熱・吸熱挙動にかかわる状態量。 エンタルピー=(内部エネルギー)+(圧力)×(体積) で定義される。
応力腐食割れ	応力と腐食の共同作用によって生ずる割れ。ある材料が引張り応力を受けていて、その材料に特融の腐食環境にあるときに発生する。
過熱蒸気	ある圧力のもとでその圧力での飽和温度以上の温度を持つ水蒸気。
作動媒体	他から熱エネルギーの供給を受け、仕事に変える物質。バイナリー発電で用いられる低沸点媒体はこれの一種。
シリカ	二酸化ケイ素(SiO ₂)の通称。地熱井より噴出する熱水中にしばしば溶存している。熱水の温度、圧力等の変化により溶解度が変化する際にスケールとして析出し、輸送阻害、熱伝導率低下等の障害を発生する。
低沸点媒体	バイナリー発電で用いられる大気圧下で沸点が100℃以下の媒体
硫化水素	H ₂ S。火山ガスや温泉、地熱水に含まれる。腐卵臭を持つ有毒の気体。
ヒートバランス	あるシステムについて、熱の発生、吸収、放出、転換等の収支(熱収支)のバランスを取ることに。
CFD	数値流体力学(英: Computational Fluid Dynamics)。流体の運動に関する方程式をコンピュータで数値解析し流れを観察する。
不凝縮ガス	地熱性から噴出する蒸気中に、水蒸気以外に含まれる二酸化炭素、硫化水素等のガスである。

I. 事業の位置付け・必要性について

I.1 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

I.1.1 NEDO が関与することの意義

(1) 小型化・高効率化の高機能地熱発電システム(バイナリー発電含む)の機器開発について

エネルギー基本計画(平成22年6月閣議決定)において、地熱発電は2030年までに設備容量165万kW(2007年度実績 53万kW)、発電電力量103億kWh(2007年度実績 30億kWh)の目標が掲げられている。

また、平成24年3月に環境省から、地熱開発が小規模で風致景観等への影響が小さなものや既存の温泉水を用いるバイナリー発電などで、主として当該地域エネルギーの地産地消のために計画されるものや、当該地域のエネルギーの国立・国定公園の利用の促進や公園事業の執行の質するものなどについては、第2種特別地域及び第3種特別地域並びに普通地域において自然環境の保全や公園利用に支障がないものは認める旨の見直しが通知されたが、依然として、自然環境への配慮が求められている。

一方、環境に配慮した機器開発は、自然公園外においてもニーズがあることから、NEDOがリードし、ベース電源となる地熱発電の小型化・高効率化に係る機器開発を行う必要があり、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

(2) 低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムの開発について

温泉熱資源量については、熱源温度53℃以上でカーリーナサイクルを想定した温泉熱ポテンシャルは72万kWと我が国の地熱発電認可容量の54万kWよりも大きく、しかも新たな掘削を必要としないものである。

一方、日本国内の多数の温泉については、浴用利用できない50℃程度以上の熱エネルギーは未利用のまま捨てられている。

各メーカーが温泉熱を利用可能な小型バイナリー発電のプロトタイプシステムを開発しているが、スケール問題や初期コストの高さから、実用・普及レベルに到達しておらず、国によるリードが必要である。

以上のことから、低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムの技術開発は、我が国の施策と整合するものであり、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

(3) 発電所の環境保全対策技術について

地熱発電は資源探査から運転までのリードタイムが極めて長く、また、資源確保の不確実性から投資リスクが高い。特に一定規模の地熱発電所建設にあたっては環境アセスメントが義務付けられており、地熱開発期間の大きなウェイトを占めている。環境アセスメントやその他自然環境への配慮等、環境保全に関する各種取り組みが、地熱発電のリードタイムを長くしていることの一要素であると捉えられる。事業者単独での迅速化や環境保全に関する技術開発は困難で、国が関与する必要があることから、NEDOがリードし迅速化に関する技術開発が必要である。

I.1.2 実施の効果

1999年に営業運転を開始した八丈島地熱発電所以来、新規の開発がない現状を鑑みると、ポテンシャルの高い地域に小型化・高効率化の高機能の地熱発電システム(バイナリー発電含む)の機器開発を行う本事業は地熱発電の導入拡大につながる。また、未利用の低温域バイナリー発電システムのコストダウンや効率向上等の技術開発によって、採算性が小規模事業者においても導入可能なレベルに改善されることにより、市場拡大が期待される。

さらに、地熱発電は開発から運転開始までのリードタイムが長いことから、本事業により発電所が周囲環境へ及ぼす影響等を迅速に理解し、環境アセスメント等を含む開発期間を短縮することで、地熱開発を促進させ、地熱発電の導入拡大に結び付くことが可能になる。

1.2 事業の背景・目的・位置付け

1.2.1 事業の背景

平成22年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」(事業開始時)において、地熱発電は2030年までに設備容量165万kW(2007年度実績 53万kW)、発電電力量103億kWh(2007年度実績 30億kWh)の導入拡大が掲げられおり、開発余地の大きい電源として位置付けられている。

2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。

平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」(現行)においても、世界第3位の地熱資源量を誇る我が国では、発電コストも低く、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源であると位置付けられている。一方、開発には時間とコストがかかるため、投資リスクの軽減、送配電網の整備、円滑に導入するための地域と共生した開発が必要となるなど、中長期的な視点を踏まえて持続可能な開発を進めていくことが必要であるとされている。

エネルギーミックスの議論に於いては、最大ケースで155万kWとされている。(最小ケースは90万kW)

1.2.2 事業の目的、意義

我が国における地熱資源の有効活用に向けて、導入ポテンシャルの高い自然公園内での開発が重要とされており、環境省において、第2種特別地域、第3種特別地域における地熱開発の規制が緩和された。しかしながら、自然公園内での新規地熱発電所建設を行う場合、依然として、小規模で風致景観等への影響が小さいものが求められることから、環境に配慮した取り組みが必要不可欠となっている。また、近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大が期待されている。さらに、環境保全対策や新規の地熱発電所建設に係る環境アセスメントの円滑化に資する技術開発を行い、地熱開発を促進する取り組みを行うことが重要である。

本事業では、地熱資源の有効活用のための、環境配慮型高機能地熱発電システムに係る機器開発、現状未利用である低温域でのバイナリー発電システム開発、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する技術開発等により、我が国の地熱発電の導入拡大を促進する。

1.2.3 事業の位置付け

平成25年に策定された、環境エネルギー技術革新計画(総合科学技術会議)において、フラッシュ式の地熱発電の普及に向けて、スケール対策および高効率化が必要であるとされており、加えて、各地に分散する現在未利用の低温地熱資源の有効活用に適し、地域共生が可能なバイナリー発電の利用拡大に向け高効率化や新たな低沸点媒体等に関する研究が必要とされている。

また、平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」(現行)にて策定が指示された「エネルギー関係技術開発ロードマップ」(経済産業省)においても、環境に配慮した高性能な地熱発電システムの開発等が求められているとされており、加えて、低温地熱資源を有効活用することが可能なバイナリー発電の拡大に向けた研究や環境アセスメントの迅速化が必要と位置付けられている。

II. 研究開発マネジメントについて

II.1 事業の目標

ポテンシャルの高い地域への地熱発電の導入拡大を目的とし、既存の発電設備よりも、小型化・高効率化の地熱発電システムの機器開発及び低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムを開発すると共に、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する取り組みを行う。

研究開発項目毎の目標と目標値の設定根拠を表Ⅱ-1に示す。

(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

地熱発電システムの小型化に資する技術(冷却塔高さを10m以下に低減する技術、敷地面積を1割程度低減する技術、熱効率を20%以上に向上させる技術等)を確立する。

(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。

(3)発電所の環境保全対策技術開発

ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。

表Ⅱ-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発	地熱発電システムの小型化に資する技術(冷却塔高さを10m以下に低減する技術、敷地面積を1割程度低減する技術、熱効率を20%以上に向上させる技術等)を確立する。	国内既存地熱発電所の実績である平均14%に対し、4割改善となる20%を目指す。
(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発	未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。	現状の先端技術であるアンモニアバイナリー発電システムの設計熱効率(年平均5.41%、冬季6.57%、夏季2.76%)の3割改善となる年平均7%とした。
(3)発電所の環境保全対策技術開発	ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。	環境アセスメントに必要な硫化水素拡散挙動予測が簡易に短期間でできれば、アセス期間が短縮できる。
(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発	上記(1)～(3)以外で地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発を行う。	テーマが多岐に亘る為、個別に設定する。

II.2 事業の計画内容

II.2.1 研究開発の内容

II.2.1.1 事業全体の研究開発の内容

本事業の期間は、平成25年度から平成29年度まで5年間とし、共同研究事業(NEDO負担率：2/3)として以下の研究開発項目を実施する。なお、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する研究開発については、原則としてNEDO負担率1/1の委託で実施することとする。

(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

[共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (i) 地熱複合サイクル発電システムの開発

(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (i) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化
- (ii) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発
- (iii) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発
- (iv) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発
- (v) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発
- (vi) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

(3)発電所の環境保全対策技術開発

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (i) 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発
- (ii) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発
- (iii) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発
- (iv) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (i) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発
- (ii) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発
- (iii) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発
- (iv) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)
- (v) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発
- (vi) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発

II.2.1.2 研究開発テーマ毎の研究開発の内容

(1)環境配慮型高性能地熱発電システムの機器開発

(1.1)地熱複合サイクル発電システムの開発

(1.1.1)背景と目的

地熱発電では、地熱熱源からの蒸気で蒸気タービンを用いて発電するフラッシュ発電システムが主であるが、近年、地熱熱源からの熱水等で低沸点媒体を蒸発させ、バイナリータービンを用いて発電するバイナリーサイクル発電システムの市場が拡大している。

フラッシュ発電システムとは地熱熱源からの熱水と蒸気の二相流を気水分離器に導き、圧力を調整し、蒸気と熱水を分離後の蒸気(フラッシュ蒸気)にて蒸気タービンを駆動し発電する。地熱熱水のエンタルピーおよびフラッシュ蒸気の割合が高い場合は、フラッシュ発電システムに適するが、エンタルピーが低くフラッシュ蒸気の割合が低い場合は、商用化される例は少ない。またフラッシュ発電システムでは、気水分離器で分離された熱水は利用されずに還元井に戻されることが多く、より有効な熱エネルギーの利用が望まれている。

バイナリー発電システムは地熱熱水のエンタルピーが比較的低い場合に適する。このシステムでは低沸点媒体を地熱熱水によって気化させバイナリータービンに導き発電する。このシステムはフラッシュ蒸気の少ない場合だけでなく、熱水のみでも発電可能である。ただバイナリー発電単独では効率が低く、環境性を考慮した適正な低沸点媒体が実用化されていないことなどから、広く商用化されていない。このため、バイナリー発電システムでは、適正な低沸点媒体やより効率の高いサイクルが望まれており、さらにフラッシュ発電システムと組み合わせた複合サイクル発電システムは、気液分離後のフラッシュ蒸気割合の小さい地熱熱源においても、フラッシュ蒸気だけでなく熱水のエネルギーも利用できるため、高効率化が期待される。

一方、我が国における地熱資源の有効活用に向けて、導入ポテンシャルの高い自然公園内での開発が重要とされており、環境省において、第2種特別地域、第3種特別地域における地熱開発の規制が緩和された。しかしながら、自然公園内での新規地熱発電所建設を行う場合、依然として高効率で風致景観等への影響が小さいものが求められ、環境に配慮した取り組みが必要不可欠となっている。

そこで本研究開発では、地熱資源の有効活用の観点から、環境負荷を考慮した高効率なシステムの開発に絞込んだ技術開発を行うことを目的とした。

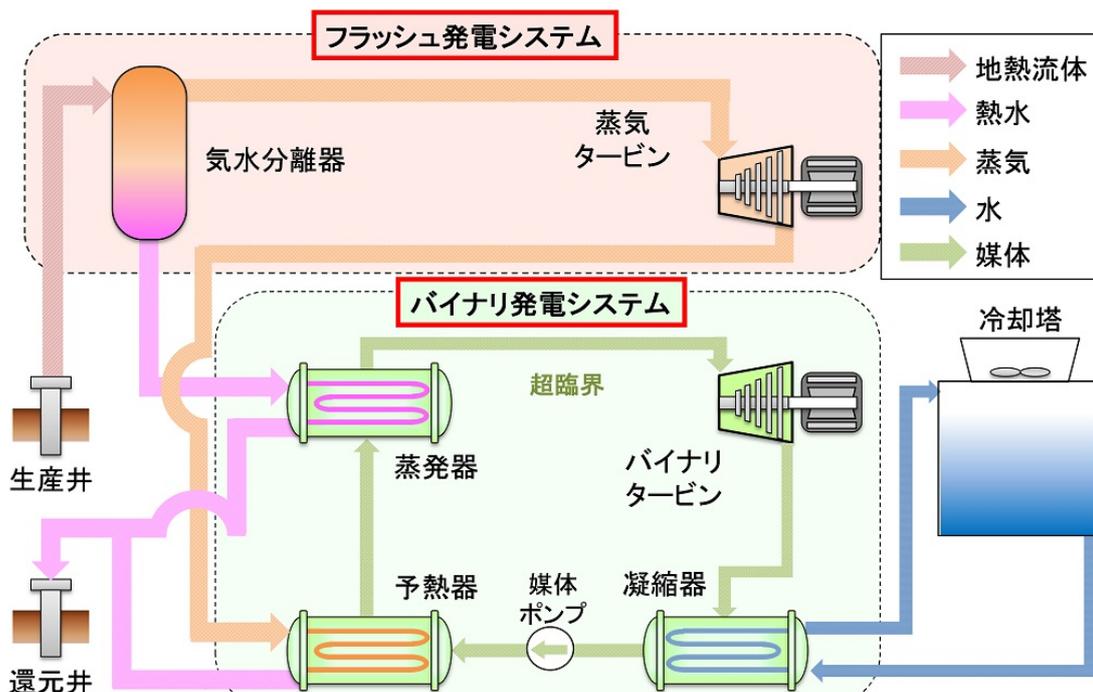


図 II (1.1)-1 複合サイクル発電システムの概要

(1.1.2)研究開発の概要

本研究開発では、上記複合サイクル発電システムに着目し、地熱熱源のエネルギーを最大限利用する技術を開発する。具体的には、複合サイクル発電システムの最適化を行うだけでなく、バイナリー発電サイクル側の適正な低沸点媒体の選定、地熱熱水との熱交換特性の向上や超臨界圧力を用いるなど、それらに適した機器開発を行うことを本研究開発の対象とする。一方、将来における本技術の事業化を考慮した場合、発電事業者の採算性を念頭におくべきで、例えばボイラータービン技術者の人件費、メンテナンス・オペレーション費用をはじめとしたトータルコストを考慮し、それに見合う発電規模が要求される。現状、この規模はMW級の出力とされている。

このような背景から、本研究開発では、平成27年度末までにMW級の商用地熱発電を対象とし、発電システムの高効率化に資する技術(熱効率を20%以上に向上させる技術)を開発し、環境を考慮した媒体の選定、バイナリータービンの開発、超臨界媒体向けの蒸発器・予熱器等の開発、各機器の効率を考慮した複合サイクルの高効率化等の開発を行い、その開発技術の評価を行うことができる実証試験機的设计・製作を行うことを目標に掲げ、平成26年度末までに下記開発目標に向けて、本事業を推進する。

- ・ MWクラスの商用地熱発電システムの熱効率を20%以上に向上させる技術の要素開発
- ・ 媒体の選定および各機器の基本設計および複合サイクル実証プラント全体設計
- ・ 実証試験を行うことが可能な条件の地熱井戸の確保、或いは人工的な蒸気供給が可能な代替場所の検討

①環境を考慮した低沸点媒体の選定

本開発対象の複合サイクルシステムを構成するバイナリー方式は、フラッシュ方式と異なり、その低沸点媒体を任意に選択できる自由度を有し、この媒体の選択が、複合サイクルシステム性能を大きく左右する。このシステム性能を向上させるためには、高い環境性能(低地球温暖化係数(Global Warming Potential, GWP))、安全性(低燃焼性、無毒性)、熱安定性(低分解性)高い熱サイクル性能(高効率、高輸送特性)の要素が低沸点媒体に求められる。

これまで一般的に使用されてきた低沸点媒体(ペンタン・ブタン等)の特性を基準とし、媒体メーカーが開発段階にある有望媒体も対象とした調査により、上記要求性能の比較評価を行う。

②選定された低沸点媒体に対する複合サイクル最適化の検討

複合サイクル発電はフラッシュ発電とバイナリー発電を組み合わせた発電手法であり、サイクルの構成も複雑となることから、多くの運転パラメータが存在する。本事業項目では、井戸条件および各要素機器の運転条件をパラメータまたは制約条件として最適化を行い、複合サイクルの熱効率について検討する。また、当該複合サイクルに関して、地熱流体エンタルピーに対する出力特性の観点で、他の発電方式(フラッシュ方式およびバイナリー方式)との比較を行う。

③選定された低沸点媒体の特性に適したバイナリータービンの開発・設計

超臨界状態の低沸点媒体が使用可能なバイナリータービンの開発を行う。具体的には、選定した低沸点媒体の特性に適したタービンの最適化設計(段落数、段落負荷配分、回転数、翼枚数等)を行なう。さらにバイナリー発電システムの発電効率向上のために不可欠となる、タービン内部効率向上を目的とし、空力解析技術等を適用した3次元翼型等の検討を行なう。また低沸点媒体のタービン外への漏洩量を最小化するために、軸シール技術を適用したシール構造設計を実施する。

④選定された低沸点媒体に対する各種熱交換器の開発・設計

検討したサイクル最適化条件に従い、地熱熱水と低沸点媒体を熱交換させる蒸発器・予熱器の開発・設計、およびバイナリータービン排気の低沸点媒体と冷却水を熱交換させる凝縮器の開発・設計を行う。機器外形に関する制約条件として、60tonトレーラによる輸送を考慮する。

⑤地熱熱水によるスケール抑制技術の開発

地熱熱水に含まれるシリカやカルシウムなどが析出し、スケールとして配管に付着すると、熱交換性能の低下が懸念される。本事業項目では、スケールが生成する水質の調査と、バイナリーシステム特有の課題である蒸発器へのスケール析出を抑制する手法の検討を行う。

⑥複合サイクル発電の実証試験

①から⑤の事業項目で要素開発した技術を元に、それら開発技術の評価を行うことができるMW級複合サイクル発電の実証試験に向けた準備を進める。この複合サイクル発電の実証試験を実施するための実証プラントが建設できる地熱井を探し、所有者との交渉等を行い、使用許諾を得て実証試験場所を確保する。但し、実証試験場所が確保されることが見込めない場合、代替となる実証試験場所(使用許諾を得た人工的な蒸気供給が可能な場所等)を検討する。

表Ⅱ(1.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①低沸点媒体の選定	<ul style="list-style-type: none"> 一般的に使用されてきた低沸点媒体および有望媒体を対象とした要求性能評価 複合サイクルシステムに適する低沸点媒体の検討、および選定 	効率20%以上を目標としたMW級複合サイクルの実証試験を平成29年度までに完了するため。
②複合サイクル最適化の検討	<ul style="list-style-type: none"> 井戸元条件に応じた、複合サイクルシステムの最適ヒートバランス設計 最適ヒートバランスを元にした複合サイクルが単独バイナリー方式・フラッシュ方式に対して優位となる井戸条件の推測 	
③バイナリータービンの開発・設計	バイナリータービン計画図	
④各種熱交換器の開発・設計	<ul style="list-style-type: none"> 蒸発器におけるチューブ型式・材料の検討・選択、蒸発器の型式の比較検討 凝縮器におけるチューブ型式の検討・選択 ヒートバランスを元にした各種熱交換器の計画図 	
⑤スケール抑制技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> スケール付着抑制のための薬剤選定、注入条件の検討 (以下は、地熱井戸による実証試験実施場所が確保された場合に限る) 実地熱水の水质調査とスケール発生メカニズムの推定 スケール付着抑制技術がバイナリー発電サイクル性能に及ぼす効果の検討 スケール試験装置計画図 	
⑥実証試験	<ul style="list-style-type: none"> 実証井戸の探索 (以下は、地熱井戸による実証試験実施場所が確保された場合に限る) 効率20%以上を目標としたMW級複合サイクルの実証 	

(1.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年度より平成29年度までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.1)-2に示す。平成25年度後期から平成26年度にかけて低沸点媒体の選定、複合サイクル最適化の検討、バイナリタービンの開発・設計、選定された低沸点媒体に対する各種熱交換器の開発・設計、スケール付着抑制のための薬剤選定・注入条件の検討、複合サイクル発電の実証試験に資する実証試験場所の検討を行った。

事業項目	25年度				26年度				27年度(予定)				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①低沸点媒体の選定			選定																	
②複合サイクル最適化の検討			開発																	
③バイナリタービンの開発・設計			開発																	
④各種熱交換器の開発・設計			開発																	
⑤スケール抑制技術の開発			開発				設計・製作・評価(予定)													
⑥実証試験			井戸の探索		設計(予定)				製作・据付(予定)				試験(予定)							

図Ⅱ(1.1)-2 研究開発のスケジュール

(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

(2.1)無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化

(2.1.1)背景と目的

近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることが期待されている。

しかし、温泉熱を利用する場合、温泉源噴出量、設置環境、導入コストを鑑みると従来の数十kW以上のモデルでは市場ニーズに合わないために普及するに至らず、10kW以下の小型モデルでの高効率化と低コストが望まれてきた。

バイナリー発電システムの小型化を図る場合には、ランキンサイクルの心臓部となるタービン(膨張機)を容積型流体機構にしなければならず、その中でもスクロール機構が小型モデルに適していると言われている。さらに普及促進のためには小型でも高効率化を図ることが課題となる。

当事業では、バイナリー発電システムの膨張機にスクロール機構を用いるとともに、低沸点媒体への混油を極力排除することで、ランキンサイクル内のポンプ動力を低減しつつ熱交換器での熱交換効率の向上を図り、システム全体発電効率7%を達成し、小型で普及促進となるバイナリー発電装置を開発することを目的とする。

(2.1.2)研究開発の概要

温泉熱源では1源泉あたりの噴出量が200~300L/minのところが多く、従来のバイナリー発電システムでは過大なために適応できず、小型化するためには高効率な膨張機を開発する必要があった。また、バイナリー発電装置の心臓部である膨張機は、効率よく膨張することと駆動部の潤滑という2つの機能が必要であるが、従来は低沸点媒体に潤滑油を混合させることで両立させていた。しかし、潤滑油混合方式では、循環量が増えるためにポンプの大型化による消費電力の増大を招き、また潤滑油被膜による熱交換器での熱交換効率の低下が懸念される。

本事業では、駆動部・膨張室分離方式のスクロール膨張機を搭載し、ランキンサイクル内での無給油化を図り、低沸点媒体の性能を100%引き出すと共に、ポンプの消費電力削減と熱交換効率の向上により小型で普及性が高い数kW~十数kWクラスのバイナリー発電システムを次の目標のもとに開発する。

- ・発電効率7%を達成
- ・潤滑油を使用することなく連続30,000時間の運転が可能な駆動部とシール部においては、摩耗量として2.0mm/30,000時間以下となる材料、潤滑機構を達成
- ・コスト面においては、11kWの場合に10百万を実現

これら高効率、高寿命、低コストにより、温泉熱(地熱)固定買い取り制度が42円/kWhで維持された場合には5.5kWクラスでも4年程度でインシヤル部分の投資回収ができることになる。また、発電量を負荷にアシストする方式であれば、売電収益は期待できないもののシステムが簡素化することで大きな節電効果が得られることになる。

本事業の開発の中心となる無給油型スクロール膨張機機構は、2013年5月に特許出願しているが、ランキンサイクル回路とスクロール膨張機の駆動機構を分離することで、低沸点媒体が持つ固有の性能を引き出すことができる。

また、スクロール膨張機内の純度が高い低沸点媒体中での潤滑については国立研究開発法人産業技術総合研究所との共同研究で最適化と長寿命化を図る。

これらを次の3年間の事業計画に基づいて開発する。

平成25年度

無給油型スクロール膨張機的设计製作、バイナリー発電システム試作1号機の製作および初期評価を実施する。無給油型スクロール膨張機については、開発費用と期間を抑えるために単体評価も計画する。併せて、膨張機内摺動部のトライボシステムに関して、試験条件設定と材料検討を開始する。

平成26年度

初年度での評価で得られた課題に対して設計変更を行うとともに、耐摩耗材料と潤滑機構の改善内容をフィードバックして潤滑機構と材料を用いたバイナリー発電システムで最適化を図る。

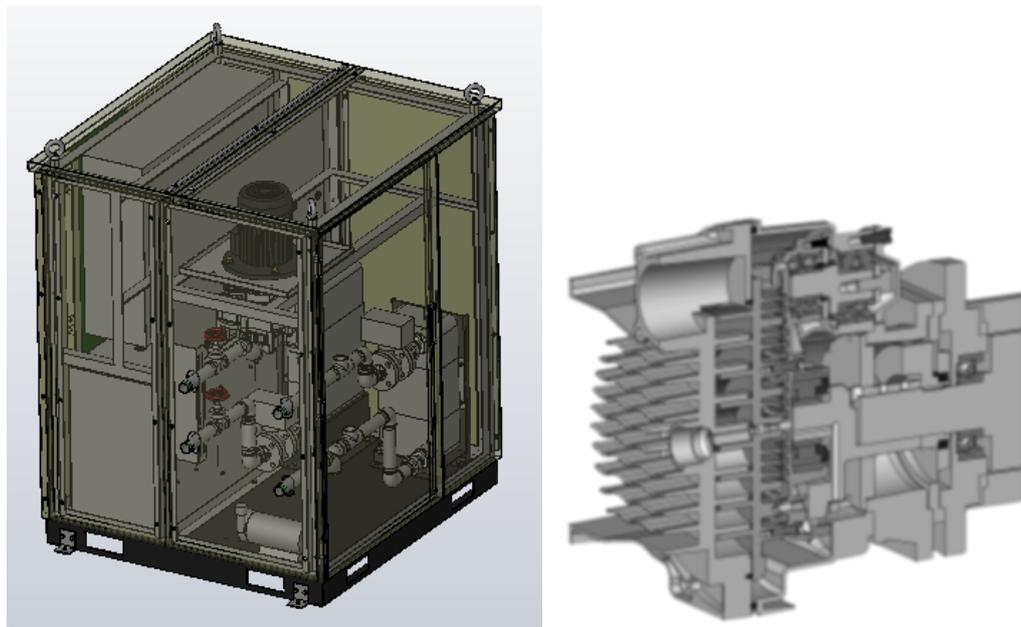
平成27年度

2年間の開発結果を踏まえ、またトライボシステムに関する加速試験などによる材料選定結果を含めたバイナリー発電システム試作2号機の製作とそのフィールド試験を行う。

事業の実施は、アネスト岩田(株)本社のR&Dセンター(横浜)を中心に設計および評価を行い、トライボシステムの開発については、国立研究開発法人産業技術総合研究所つくば事業所にて行う。また、実証試験は実際の温泉井戸を利用することを計画している。

表Ⅱ(2.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①無給油型スクロール膨張機および小型バイナリー発電システムの開発	発電効率7%	現状が5%前後にとどまっていることを鑑みて、小型であっても発電出力を最大化して費用対効果を向上させる。
	11kWの場合にコスト10百万	他の再生可能エネルギー利用との比較および投資回収効果を鑑みて900千円/kWを装置価格のターゲットとした。
②摺動特性を向上するトライボシステムの開発	潤滑油を使用することなく連続30,000時間の運転が可能な駆動部とシール部においては、摩耗量として2.0mm/30,000時間以下となる材料、潤滑機構を達成	約4年間の連続運転が可能であり、軸受などの機械部品とメンテナンスサイクルに合わせられることから、システムの生涯コストを削減できる。



図Ⅱ(2.1)-2 システム(背面透過図)および膨張機構成(断面図)

(2.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年8月1日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.1)-3に示す。平成26年度内にシステム製作を行った。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①無給油型スクロール膨張機および小型バイナリー発電システムの開発												
・発電システムの調査			←→		←→				←→			
・スクロール膨張機の単体試験			←→									
・発電システムの設計			←→		←→	最適化				←→		
・発電システムの製作			←→							←→		
・発電システムの評価			←→	←→								←→
・発電システムの海外調査			←→		←→				←→			
②摺動特性を向上するトライボシステムの開発												
・スクロール膨張機のトライボシステムの開発			←→									

図Ⅱ(2.1)-3 研究開発のスケジュール

(2.2)炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発

(2.2.1)背景と目的

低温地熱熱水を用いて発電出来る小型バイナリー発電は日本に適する発電方法として期待されている。実用化への課題の1つがスケール付着である。スケールの付着は配管閉塞や熱伝達の効率を低下させるため、メンテナンス無しでは地熱熱水の利用を継続出来ない。スケール対策には、硫酸を用いた薬品処理や機械的な除去処理等が主に採用されてきたが、前者は環境汚染への影響や災害時の化学薬品流出事故が懸念され、後者はコスト面で難がある。熱源の多くは国立公園内や温泉地等に立地しており、その利用には周辺環境や住民への配慮が欠かせない。環境への配慮とコスト面を両立する新しいスケール対策法の技術開発が急務である。そこで、環境に配慮した対策手法として炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質法を技術開発することを目的とする。

(2.2.2)研究開発の概要

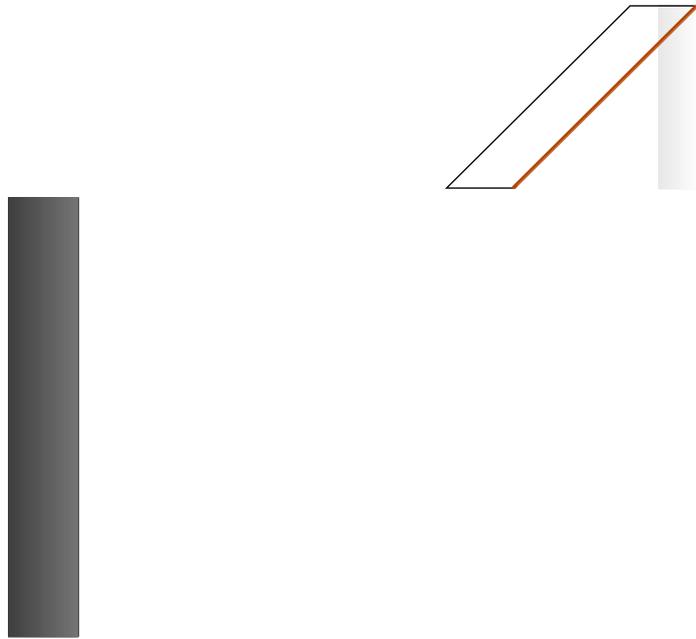
一般的に使用されている炭素鋼等の材料表面組織を制御することにより、スケール付着量が低減される材料を表面改質材と呼ぶ(図Ⅱ(2.2)-1)。

実験室レベルにおいて大きなスケール付着抑制効果を発揮する表面改質材を創製し、そのスケール抑制機構を明らかにする。また、並行して、発電プラント環境において付着したスケールを詳細解析し、発電プラント環境におけるスケール付着機構をモデル化する。また、スケール付着が伝熱性能に及ぼす影響を把握・解析し、温泉発電システム商用化の課題を整理する。

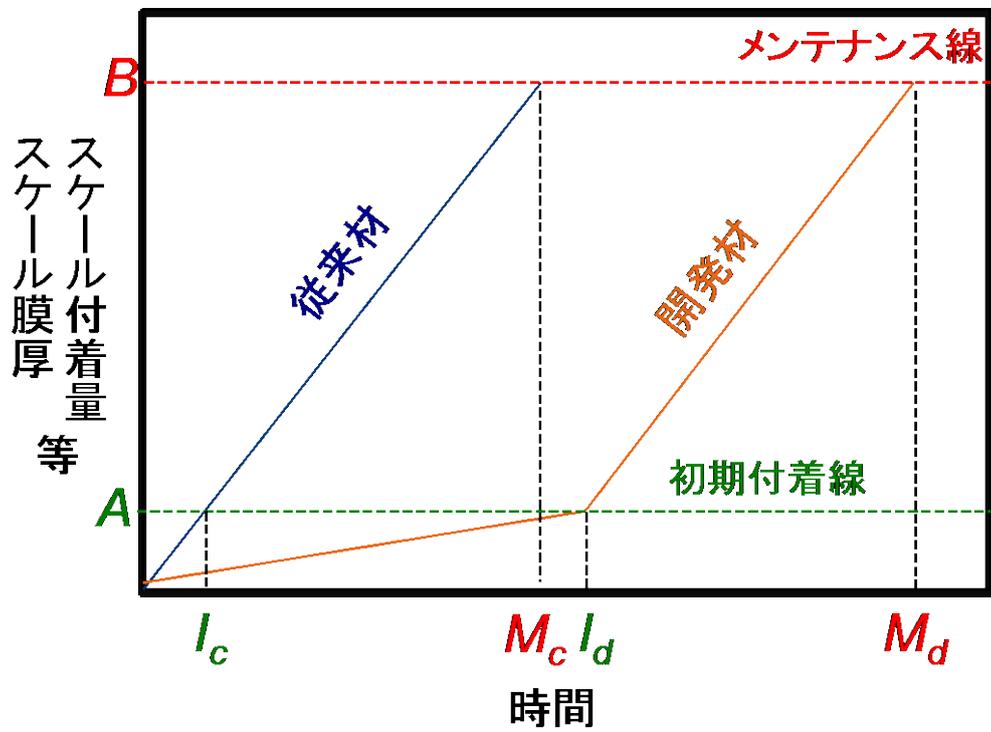
表面改質材は、炭酸カルシウムを主とするスケールが金属表面を覆う期間を延長する効果を有する材料である。図Ⅱ(2.2)-2はその表面改質材の耐スケール効果の目標値を表した模式図である。ここで、金属表面全面を覆うまでのスケール付着量を A (またはスケール膜厚)とする。メンテナンスが必要となるまでの付着量を B とする。従来材において付着量 A となるまでの期間と付着量 B となるまでの期間はそれぞれ I_c と M_c である。目標とする表面改質材の耐スケール性能において付着量 A となるまでの期間と付着量 B となるまでの期間はそれぞれ I_d と M_d である。本テーマ内では従来材としてステンレス鋼SUS316を用いた。表面改質材の有する性能の目標値は2つある。1つは初期付着量に関する目標値である。従来材の初期付着量と比較して、表面改質材の付着量を4分の1にする。ここで、初期付着量とはスケールが材料表面をすべて覆うまでの期間の付着をいう。この時、付着期間は約4倍に延長されていると仮定する($I_d > 4I_c$)。もう1つはメンテナンス期間に関する目標値である。ここで、表面改質材の効果継続時間について考える。表面改質材は金属表面が地熱熱水に接触している状態で効果を発揮する。したがって、スケールが表面全面に付着した時、表面改質材はスケール抑制効果を失う。すなわち、従来材と同様の付着スピードでスケールが付着する。しかし、スケール付着量 A におけるスケール付着期間の延長は、スケール付着量 B となるメンテナンス期間を延長することができる。このような耐スケール性能を従来材に表面改質により付与し、実際の温泉発電プラントの環境にてメンテナンスが必要となるまでの運転期間を現在の使用材料の現況と比較して1.5倍以上に延長する($M_d > 1.5M_c$)。そして、開発鋼を用いた実際の温泉発電システムを運用する際のコスト含む商用化の課題を整理する。

本テーマは以下の①-⑥の項目を実施し、目標の達成を目指す(表Ⅱ(2.2)-1)。

- ①スケール付着箇所の把握と付着条件の検討
- ②スケール形成機構のモデル化
- ③スケールと伝熱性能の関係性評価
- ④表面改質材の開発およびスケール抑制機構のモデル化
- ⑤表面改質材の実地試験およびその伝熱性能評価
- ⑥スケール付着面からの最適運転方法の提案



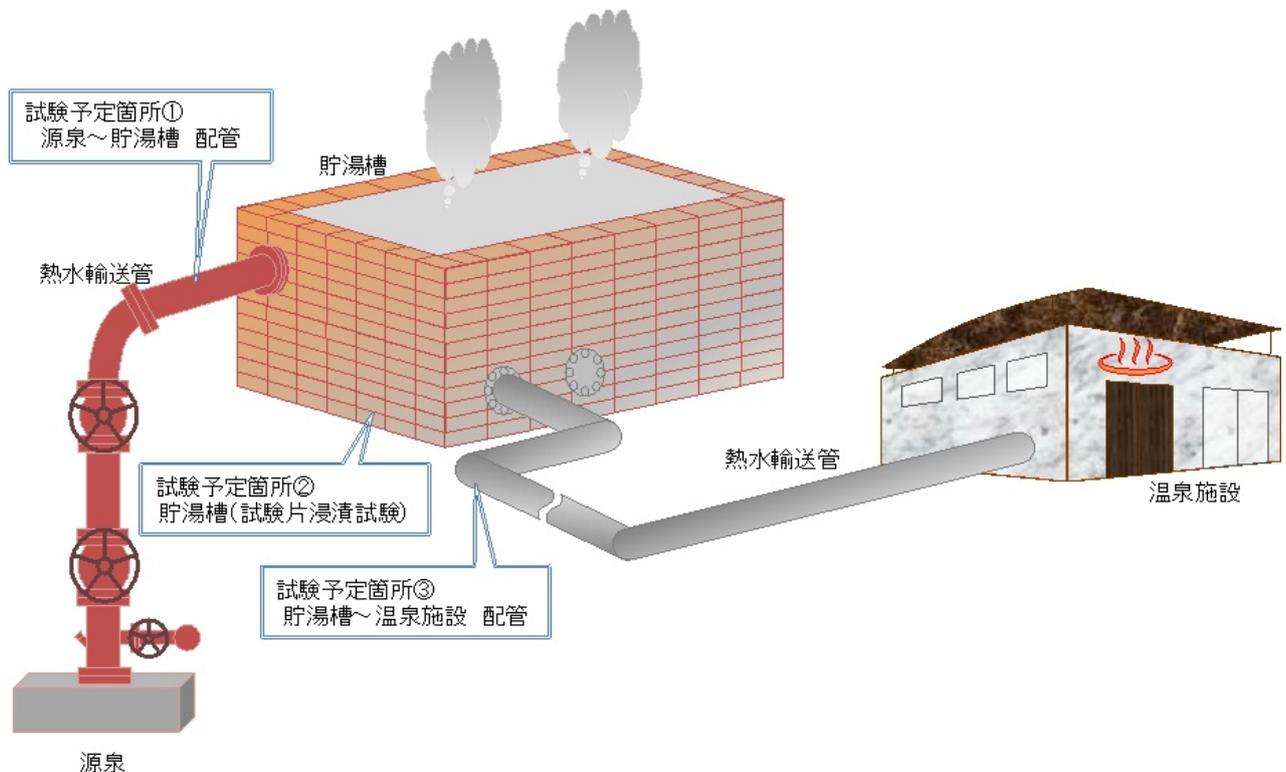
図Ⅱ(2.2)-1 スケール付着を抑制する材料の構成図



図Ⅱ(2.2)-2 スケール付着を抑制する材料の構成図

①スケール付着箇所の把握と付着条件の検討

実際の温泉発電プラント環境で使用される源泉周辺で実際に付着するスケールの化学分析、付着スピードなどを把握し、明確化する。長崎県雲仙市小浜温泉における実証実験では炭酸カルシウムのみならず、それと異なる様相のスケールが観察された。その要因を明らかにするために詳細な水質調査と付着スケールの関係性を行う。これらの結果を元に、炭酸カルシウムスケールの付着を促進する因子を検討する。また、熱水輸送管等でスケール付着を定量的に評価する手法がないため、本事業内でスケール付着量を評価する手法を確立する。2年度目以降、バイナリー発電施設内のスケール付着調査を詳細に行う。そして、実地試験する標準的な箇所を選定する(図II(2.2)-3)。開発表面改質材を用いた繰返しの試験を考慮し、工事システムのマニュアル化等の実地試験に向けた準備が必要とされる。実地試験場所として、温泉発電プラント環境で使用される熱水輸送管および発電所貯湯槽内、あるいは源泉付近の場所で行う。実地試験を実施するに当たっては、温泉事業者、行政、周辺居住者等との調整が必要であり、今後の研究調査への協力を依頼する。他の温泉地域においても小浜温泉で明らかになった付着機構を基に、今後の地熱・温泉発電の事業展開を目指す。また、他のスケール問題が生じている各温泉水を用いて、適用可能性とその効果について評価する。



図II(2.2)-3 熱水輸送システム及び実地試験箇所

②スケール形成機構のモデル化

一般的な物質の形成は核の発生と成長から成る。この観点に基づき、炭酸カルシウムスケール形成機構を明らかにする。炭酸カルシウム合成溶液を用い、鋼材にスケールを付着させ、電子顕微鏡を用いてスケール形成過程を解析する。はじめに、炭酸カルシウムスケールの成長機構を明らかにし、次に核発生機構について明らかにする。

スケールの付着量とその状況、特にスケール成長状況は流速により変化するといわれている。一般の熱交換で設定される流速と核の発生および成長との関係を伝熱の伴う状況で把握する。上述のスケール付着過程の解析結果を受けて、流れおよび伝熱特性へのスケール付着状況の影響を解析する。また、スケールの付着状況をもとに、流れおよび伝熱の特性の熱流動シミュレーシ

ンを行う。実地環境として小浜温泉におけるスケールの付着状況についてマクロとミクロの視点の双方からアプローチし、その機構を明らかにする。すなわち、流量の影響、配管形状の影響、付着過程の把握、ミクロ視点におけるスケール発生および成長を解析する。

③スケールと伝熱性能の関係性評価

スケールは伝熱性能を阻害する。そこで、スケール厚さと伝熱性能の関係性について明らかにする。これまでの、時間の経過とともにスケール付着量の増加および付着状況の変化が観測できた。伝熱材料として用いられる金属材料を試験材料として、伝熱特性を測定する実験装置を製作し、スケール付着量や付着の状況と、伝熱特性の関係、温度変化の影響を測定する。そして、表面へのスケール付着量あるいはその付着状況と伝熱性能との関係を把握する。

④表面改質材の開発およびスケール抑制機構のモデル化

表面改質材を作製しその特性を評価する。評価は炭酸カルシウムスケール付着加速試験を用いて実施する。年度毎の目標値として、スケール付着加速試験によって付着する炭酸カルシウムスケール付着量を、ステンレス鋼比で平成25年度に半分以下、平成26年度に4分の1以下にする。また、表面改質材使用時のスケール付着過程についても明らかにする。それらの結果を解析し、実地試験する表面改質材を選定する。流動環境中においても表面改質材の耐スケール性と耐食性について評価し、表面改質材使用に関する課題の抽出を行う。

⑤表面改質材の実地試験およびその伝熱性能評価

温泉発電プラント内やスケール付着が顕著な場所で実地試験するため、その箇所の設計や試験片を作製し、スケール付着試験をする。その場所で、表面改質処理を施した配管を製作し、試験する。そして、従来材と比較する。小浜での実証試験の結果から、バイナリー発電装置におけるスケールの付着状況と発電性能との関係を解析し、付着状況と伝熱特性の関係から発電システム性能への影響調査を実施する。そして、開発する材料の性能試験を行い、本事業内で確立するスケール特性の解析方法を用いて総合的に評価を行う。

⑥スケール付着面からの最適運転方法の提案

スケール付着面から考えた運転方法についてはこれまで詳細に研究されていない。①～⑤までの成果を踏まえて、伝熱流速、温度条件、および流速の非定常性や逆洗などの洗浄を考慮した最適な運転条件、ならびに耐スケール効果を有する表面改質材を使用する新規スケール対策法を提案する。実際の温泉発電プラントの環境にてメンテナンスが必要となるまでの運転期間を現在の使用材料の現況と比較して1.5倍以上に延長することを目標とする。

各種会議とシンポジウムの開催

1. 研究グループ会議の開催
四半期に一度、研究グループ会議を開催し、情報交換、円滑な技術開発と研究を行う
2. スケール対策委員会の開催
スケール対策委員会を開催し、適宜、研究開発進捗状況と今後の方針について確認を行う。
3. 成果報告シンポジウム開催
3年度終了前後、実地試験に協力して頂いた地域住民を含めた成果発表会を行う。

表Ⅱ(2.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①スケール付着箇所の把握と付着条件の検討	スケール付着因子を整理する。	スケール付着機構および抑制機構を解明することにより、最適な表面改質手法を検討できる。
②スケール形成機構のモデル化	実験室および実地環境においてスケール付着機構を明らかにする。	明らかにした機構を元に付着量を低減する材料を作製し、その開発材の特性を実験室で評価する。
③スケールと伝熱性能の関係性評価	スケール付着が伝熱性能へ及ぼす影響を評価する。	スケール付着量などが発電量におよぼす影響を調査する。
④表面改質材の開発およびスケール抑制機構のモデル化	スケール付着加速試験を用いて、スケール付着量を現行材比で75%削減する材料を作製する。	実験室で試験したスケール付着量の小さい材料を分析し、その抑制機構を明らかにする。そして、耐スケール性能を有する材料を開発する。
⑤表面改質材の実地試験およびその伝熱性能評価	実地環境において開発材を試験する。そのスケール付着状態を評価し、現行材と比較する。また、開発材の特性を評価解析する。	表面改質の効果は金属表面と熱水が接触している状態で発揮される。したがって、長期特性を評価する。また、環境の影響も整理する。
⑥スケール付着面からの最適運転方法の提案	実際の温泉発電プラントの環境にてメンテナンスが必要となるまでの運転期間を現在の使用材料の現況と比較して1.5倍以上に延長するシステムを提案する。	開発鋼を用いた実際の温泉発電システムを運用する際における、コスト含む商用化の課題を整理する。

(2.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年8月1日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.2)-3に示す。平成27年度6月30日までに、研究グループ会議を8回実施し、スケール対策委員会を2回実施した。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①スケール付着箇所の把握と付着条件の検討			←————→									
②スケール形成機構のモデル化						モデル化						
③スケールと伝熱性能の関係性評価			←————→									
④表面改質材の開発およびスケール抑制機構のモデル化			←————→							抑制機構のモデル化		
⑤表面改質材の実地試験およびその伝熱性能評価						実地試験						
						伝熱性能評価						
⑥スケール付着面からの最適運転方法の提案											←————→	

図Ⅱ(2.2)-3 研究開発のスケジュール

(2.3)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発

(2.3.1)事業の目的と目標

近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大に資する技術開発が期待されている。しかしながら、既存の地熱・温泉熱利用の発電設備・システムは中規模・大規模(20kW以上)であり、小規模事業者が圧倒的に多い温泉施設・温泉宿泊施設は、規模の大きい発電事業や熱の有効利用等の事業を行うことは困難である。

そこで、本事業では、温泉地域の実情に合致した小規模・低温度域での温水・蒸気エネルギーの活用・推進を図るため、温水、蒸気の双方への対応による柔軟なシステム構成によって市場の拡大を実現するハイブリッド型小規模発電システムの開発を行うことを目的とする

事業性を考慮して、

小湧出量(50ℓ/分程度)、低湧出温度(80℃程度)の温泉で利用可能なバイナリー発電システムの開発において、以下の目標を達成する。

- i)システム全体の発電効率(熱効率)：7%以上、連続運転10,000時間
- ii)機器の維持管理頻度、耐用年数：維持管理年1回、耐用年数15年以上
- iii)システム全体の耐用年数：維持管理年1回、耐用年数15年以上
- iv)システムの維持管理コスト：収益の10%以内(収益稼働率90%以上)
- v)導入コスト：5,000千円/1システム以下

(2.3.2)研究開発の概要

◎全体システムの概要

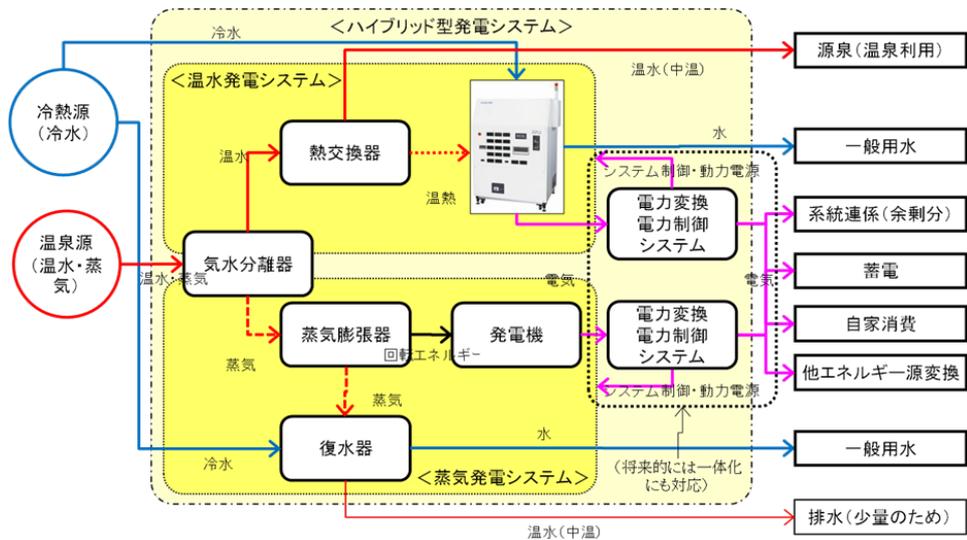
本件は、申請者であるアドバンス理工(株)(旧社名：アルバック理工(株))が開発、性能の確認が完了し、既に実証段階にある可搬型小型発電機を用いて、温泉地における小型・分散型地域発電システムを構築するための、機器開発を行う。

温泉地での実証実験は、宮城県鳴子温泉に営業所を有する株式会社馬淵工業所が担い、効率とコストを追求したシステムの周辺設備開発を行う。

小型・分散型地域発電システムは、温水発電と蒸気発電の双方の開発＝ハイブリッド型発電システムとし、以下に示す研究・開発をその内容とする。以下にシステム全体像を示す。

本研究開発は、3つのシステムの開発・実用化(3つの開発テーマ)とその実用化に必要な4つの機器開発を想定している。開発を行う3つのシステムは、温水発電システム、蒸気発電システム、そして前掲の2つのシステムを統合したハイブリッドシステムからなる。

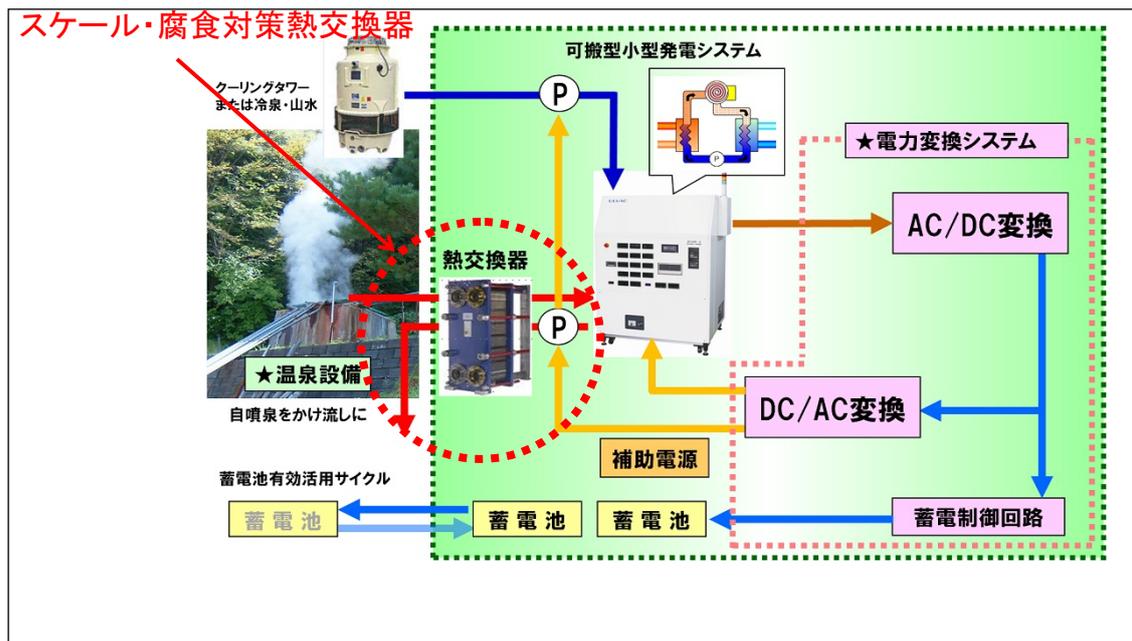
4つの機器開発とは、温水発電システム開発における『温泉水による腐食・スケール対策を施した熱交換器の開発』、蒸気発電システムにおける『スクロール型蒸気膨張機の開発と小型高効率蒸気膨張機の開発』と『小型高効率復水器の開発』さらに『小型気水分離器』からなる。本研究開発においては、『気水分離器』は便宜的に蒸気発電システムの開発のなかで実施する。前掲の4つの機器開発のイメージを図Ⅱ(2.3)-1に示す。



図Ⅱ(2.3)-1 機器開発のイメージ

○ 実用的温水発電システムの開発＝スケール対策を施した熱交換器の開発

温水発電システムにおいては、『スケール・腐食対策を施した熱交換器』の研究開発を行う。



図Ⅱ(2.3)-2 温水発電システムの概要と機器開発

○ 実用的蒸気発電システムの開発

蒸気発電システムにおいては、下記の3つの機器の研究開発を行う。

- ・ 『小型のスクロール型蒸気膨張機による発電機の開発』
- ・ 『復水器＝発電機の効率化のため小型・真空型の復水器の開発』
- ・ 『気水分離器＝温水発電との併用の前提となる温水と蒸気の高効率&小型気水分離器の開発』

表Ⅱ(2.3)-1 研究内容と役割分担

研究開発テーマ		機器開発	担当事業者
①実用的温水発電システムの開発	温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発	熱交換器開発	馬淵工業所
②-1スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発(Phase-1)	スクロール型蒸気膨張機発電システムの一次試作	膨張機開発	アドバンス理工
		復水器開発	アドバンス理工
		気水分離器開発	馬淵工業所
②-2スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発(Phase-2)	スクロール型蒸気膨張機蒸気発電システムの二次試作	膨張機開発	アドバンス理工
		復水器開発	アドバンス理工
		気水分離器開発	馬淵工業所
③温水・蒸気併用ハイブリッド型発電システムの開発	ハイブリッド発電システムの実証試験	統合化 実証実験	アドバンス理工 馬淵工業所

① 実用的温水発電システムの開発

・ 温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発(担当：株式会社馬淵工業所)

(i) 腐食状況の確認及びスケールの現場での付着実験(担当：株式会社馬淵工業所)

鳴子温泉現地において、実際の腐食・スケール付着状況についての分析を行う。既存の類似実機を実証実験場所に設置し、腐食・スケール付着実験を行う。配管素材の違いによる状態と経時変化に伴う変化を分析するためのサンプルを採取する。

(ii) 腐食・スケール付着物性分析(担当：株式会社馬淵工業所)

上記(i)によって採取されたサンプルを分析し、腐食、スケールの付着メカニズム、その物性等についての解明を図る。

(iii) 腐食・スケール付着対策の検討と熱交換器の設計要件の確定・設定(担当：株式会社馬淵工業所)

上記(ii)の結果により、今後の維持管理の方法を踏まえ、熱交換器の素材、表面処理等の方向性についての検討を行い、熱交換器の設計の基本要件の確定・設定を行う。分析・検討結果によって、(i)(ii)のプロセスを再度実行する。

(iv) 熱交換器の設計・試作(担当：株式会社馬淵工業所)

上記(iii)の結果を用いて、形状検討、素材の選定、表面処理等についての設計・試作を行う。

(v) 熱交換器の評価＝維持管理性能評価(担当：株式会社馬淵工業所)

開発した機器の評価を行う。評価項目については、事業性に大きく影響する耐用年数を重点として、経時による耐腐食、耐スケール付着性能、および維持管理の容易性についての評価を実施する。

(vi) 耐腐食性の高い可搬型小型発電システムの筐体の検討(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)

腐食性ガス等からの曝露による機器・システムの故障・腐食等の影響を防ぐため、腐食性ガス等からの曝露を防ぐ構造や高耐腐食性の材料の採用等、筐体の検討・設計を行う。

(vii) 導入、維持管理コストの評価(担当：株式会社馬淵工業所、アドバンス理工株式会社)

上記(v)の結果に基づき、導入コスト、維持管理コストについての検討を行う。必要に応じてローコスト化の検討を行い、事業収支上の損益分岐点の算出等により最適なコストを見出す。

②-1 スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発(Phase-1)

・ スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの一次試作(担当：アドバンス理工株式会社)

(i) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの一次試作の設計・検討(担当：アドバンス理工株式会社)

蒸気発電システムを使用する場所の蒸気の温度・圧力より、スクロール型蒸気発電システムのサイクルを設計し、各構成部品の検討を行う。各構成部品は、スクロール型蒸気膨張機と発電機、気水分離器、復水器である。また、蒸気発電システムの各構成部品を3D-CADでモデリング後、各構成部品のモデリングを組み合わせて、実証試験に用いる蒸気発電システムの外観等のモデリ

ングを行い、各構成部品の配置などの検討を行う。

(ii) スクロール型蒸気膨張機と発電機の一次試作の設計・製作(担当:アドバンス理工株式会社)

上記(i)において、設計・検討を行った蒸気発電システムのスクロール型蒸気膨張機と発電機の設計・製作を行う。蒸気膨張機の設計は、スクロールの設計、駆動部の設計を行う。スクロールの設計は、蒸気発電システムを使用する場所の蒸気の温度・圧力から、仕様を決定し、計画図を作成する。この計画図をもとに、3D-CADを用いて、スクロール部、駆動部の各部品のモデリングを行う。モデリングした各部品の加工を行うために、加工図の作成を行う。加工図をもとに各部品の製作を行い、蒸気膨張機を組み立てる。また、発電機は、1~3kWの出力範囲で適用可能な仕様で製作を行う。製作した発電機と蒸気膨張機を組み合わせ、動作確認を行い、単体試験を行う。単体試験は、空気を用いた圧縮試験を行い、吐出圧力が上がることを確認し、内部漏れが無いことを確認を行う。

(iii) 気水分離器の一次試作の設計・製作(担当:株式会社馬淵工業所)

上記(i)において、設計・検討を行った蒸気発電システムの気水分離器の設計・製作を行う。気水分離器の設計・製作では、まず、市販の気水分離器の選定を行う。実際の蒸気発電システムに注入する蒸気を用いて、選定を行った市販の気水分離器から吐出される蒸気の圧力・流量等の評価を行う。この評価をもとに、気水分離器の最適な仕様設計を行う。この仕様設計をもとに、気水分離器製作メーカーと打合せを行い、蒸気発電システム用の気水分離器の一次試作を行う。

(iv) 復水器の一次試作の設計・製作(担当:アドバンス理工株式会社)

上記(i)でのスクロール型蒸気膨張機発電システムの設計・検討に基づき、復水器の設計・製作を行う。復水器の設計・製作では、まず、市販の熱交換器の選定を行う。実際の蒸気発電システムに注入する蒸気を用いて、選定を行った熱交換器の評価を行う。この評価をもとに、復水器の最適な仕様設計を行う。この仕様設計をもとに、復水器製作メーカーと打合せを行い、蒸気発電システム用の復水器の一次試作を行う。

(v) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの一次試作・動作確認(担当:アドバンス理工株式会社)

上記(ii)(iii)(iv)にて設計・製作を行ったスクロール型蒸気膨張機、気水分離器、復水器を(i)で検討した蒸気発電システムの各構成部品の配置にしたがい、組立を行う。その後、スクロール型膨張機と蒸気発電システムの動作確認を行う。

(vi) 一次試作:スクロール型膨張機による蒸気発電システムの性能評価(担当:アドバンス理工株式会社)

上記(v)で試作したスクロール型蒸気膨張機の性能と発電システムの性能評価を行う。蒸気発電システムの性能は、蒸気の状態を温度100~150℃、膨張機入口圧力0.2~0.4MPaの間で変更し、電球負荷を用いて、1~3kWの出力が可能かを評価する。

(vii) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作の検討(担当:アドバンス理工株式会社)

上記(vi)で行った性能評価をもとに、二次試作蒸気発電システムの蒸気膨張機の構造の検討、気水分離器の仕様検討、復水器の仕様検討を行う。(vi)で行った性能評価において、実験室で、電球負荷を用いて、1~3kWの出力が可能となった場合には、実証試験機の検討を行う。

②-2 スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発(Phase-2)

・スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作(担当:アドバンス理工株式会社)

(i) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作の設計(担当:アドバンス理工株式会社)

上記②-1(vii)で行った検討をもとにして、一次試作蒸気発電システムを改良した二次試作スクロール型蒸気膨張機による発電システムの設計を行う。また、二次試作のスクロール型蒸気膨張機による発電システムの各構成部品を3D-CADでモデリング後、各構成部品のモデリングを組み合わせ、実証試験用の蒸気発電システムのモデリングを行う。

(ii) スクロール型蒸気膨張機による発電機の二次試作の設計・製作(担当:アドバンス理工株式会社)

上記②-1(vii)において、検討を行った二次試作スクロール型蒸気膨張機発電システムのスクロール型蒸気膨張機と発電機の設計・製作を行う。一次試作のときと同様、蒸気膨張機の設計は、スクロールの設計、駆動部の設計を行う。スクロール型蒸気膨張機の設計は、蒸気発電システム

を使用する場所の蒸気の温度・圧力から、仕様を決定し、計画図を作成する。この計画図をもとに、3D-CADを用いて、スクロール部、駆動部の各部品のモデリングを行う。モデリングした各部品の加工を行うために、加工図の作成を行う。加工図をもとに各部品の製作を行い、蒸気膨張機を組み立てる。発電機の二次試作は、一次試作の性能評価試験により、問題がある場合、再製作を行う。発電機とスクロール型蒸気膨張機を組み合わせ、動作確認を行い、単体試験を行う。単体試験は、空気を用いた圧縮試験を行い、吐出圧力が上がることを確認し、内部漏れが無いことを確認を行う。

(iii) 気水分離器の二次試作の設計・製作(担当：株式会社馬淵工業所)

上記②-1(vii)において、設計・検討を行った二次試作スクロール型蒸気膨張機発電システムの気水分離器の設計・製作を行う。気水分離器の二次試作の設計・製作では、一次試作の性能評価をもとに気水分離器製作メーカーと打合せを行い、実際の蒸気を使用するための問題点を解決した改良を行う。改良を行った気水分離器の二次試作単体で、実際の蒸気を用いて性能を評価する。

(iv) 復水器の二次試作の設計・製作(担当：アドバンス理工株式会社)

上記②-1(vii)において、検討を行った二次試作スクロール型蒸気膨張機発電システムの復水器の設計・製作を行う。復水器の二次試作の設計・製作では、一次試作の性能評価をもとに復水器製作メーカーと打合せを行い、実際の蒸気を使用するための問題点を解決した改良を行う。改良を行った復水器の二次試作単体で、実際の蒸気を用いて性能を評価する。また、復水器は、使用する前に、真空状態にする必要がある。このため、開発する復水器を真空状態にする真空ポンプが必要となる。そこで、この復水器用の真空ポンプの製作も合わせて行う。

(v) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作・動作確認(担当：アドバンス理工株式会社)

上記(ii)(iii)(iv)で設計・製作を行ったスクロール型蒸気膨張機、気水分離器、復水器を(i)で検討した蒸気発電システムの各構成部品の配置にしたがい、組立を行う。その後、(v)で製作した蒸気発生システムと二次試作のスクロール型蒸気膨張機発電システムを接続し、スクロール型蒸気膨張機の性能評価と発電システムの動作確認を行う。

(vi) 二次試作：スクロール型蒸気膨張機による発電システムの性能評価(担当：アドバンス理工株式会社)

上記(v)で試作した蒸気発電システムの性能評価を行う。一次試作のときと同様、二次試作スクロール型蒸気膨張機発電システムの性能評価は、蒸気の状態を温度100~150℃、膨張機入口圧力0.2~0.4MPaの間で変更し、電球負荷を用いて、1~3kWの出力が可能かを確認する。

(vii) スクロール型蒸気膨張機発電システム単体での実証試験(担当：アドバンス理工株式会社)

改良した二次試作蒸気発電システム単体を実際の蒸気が発生している現場に持ち込みスクロール型蒸気膨張機と発電機の性能評価試験を行う。性能評価は、実際の蒸気を用い、電球負荷を用いて、1~3kWの出力が可能かを確認する。

③ 温水・蒸気併用ハイブリッド型発電システムの開発

③-1 ハイブリッド発電システムの実証試験(担当：アドバンス理工株式会社)

(i) ハイブリッドシステムの検討(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)

上記②-2(vi)(vii)の評価をもとに、ハイブリッドシステムの検討を行う。

(ii) ハイブリッドシステムの製作(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)

上記(i)において、検討を行ったハイブリッドシステムの製作を行う。

(iii) ハイブリッドシステムの実証性能試験(担当：アドバンス理工株式会社)

上記(ii)で試作したハイブリッドシステムを実際の蒸気が発生している現場に持ち込み、性能評価試験を行う。性能評価は、実際の蒸気において、電球負荷を用いて、1~6kWの出力が可能かを確認する。実証性能評価試験の結果からハイブリッドシステムの検討を行う。この検討では、ハイブリッド化した場合における気水分離器の最適値の探索、最適なシステムの配管等を検討する。同時に、システムの耐用年数も明らかにする。

③-2 流量制御によるスケール調査とハイブリッド発電の最大化

- ・ 特殊な機器でのスケール対策が不要となる温泉供給ラインからの採熱方法の確立と採熱方法に合わせた温泉蒸気分離方法と流量制御方法の確立。

(i) 採熱方法の確立(担当：株式会社馬淵工業所)

源泉直後、ガス抜き直後の温泉水で熱交換器へのスケール付着比較検討を行い、源泉毎に異なる温泉供給ラインに応じた最適な採熱方法を確立する。源泉から噴き出した直後にガスカート式プレート熱交換器を設置する。また源泉より大気開放して周辺湯気対策を施したガス抜きタンクに温泉水を引き、ガス抜き後の温水に熱交換器を設置してスケールの付着比較実験を行う。

ガス抜き用タンク内部を仕切り温泉水が貯留する仕組みとし、上記①(iv)(v)で評価・試作した浸漬型熱交換器を設置、維持管理性の検証も平行して行う。60日経過後に再試験を実施し、再現性を検証する。

(ii) 温泉蒸気分離方法の確立(担当：アドバンス理工株式会社)

温泉供給ラインに設置したバルブの調整で温水と蒸気流量比を変化させて、温水発電と蒸気発電の発電出力と発電効率の変化を把握することで流量比を最適化する。

④ 事業性・市場性の確保と向上

・事業性・市場性確保のための検討と開発への反映(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)

外部専門家との協働(コンサルタントへの委託等)による検討を実施する。

(i) 事業性検証

出力特性、初期導入コスト、維持管理コスト等の算出を行い、温泉事業者等が導入した場合の事業性の検証を行い、温泉事業者等の本システム導入に向けての事業上の課題の抽出とその解決策を見出す。

(ii) 市場性検証

上記にあわせて、導入先のニーズの把握、資金調達支援等についての検討を行い、温泉事業者等が本システムの導入を容易にする方策の検討を行い、本システムの市場性を向上させる。

(iii) 開発への反映

上記(i)(ii)の検証結果を、製品開発に反映する。加えて市場への試験的投入(実証機の公開等含む)により市場の反応を実際に確認すると同時に広報PRなどを行い、事業性・市場性向上の観点から、実験内容やスケジュールの調整・検討を実施する。

表Ⅱ(2.3)-2 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発	維持管理費の低減、稼働率90%以上を実証。	発電による収益の10%以内を事業上の限界費用として設定。また、事業者の既存人材の活用の為、容易な維持管理方法を想定
②-1 スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの一次試作	蒸気温度100~150℃、入口圧力0.2~0.4MPaで、1~3kWの発電出力を得る。	温水発電システムと複合化する際に適した条件と能力から設定。
②-2 スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作		
③-1 ハイブリッド発電システムの実証試験	温水発電と蒸気発電で1~6kWの発電出力を得る。5,000千円/1システムの実現。	導入による費用対効果から設定。
③-2 流量制御によるスケール調査とハイブリッド発電の最大化		
④事業性・市場性確保のための検討と開発への反映	導入コスト5,000千円/1システム以下の事業シナリオ策定。	現状では導入に係る事業費が大きく、事業化が可能なシステムの検討が求められる為

(2.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年9月2日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.3)-3に示す。平成25年度後期から平成26年度にかけて温水発電システムの設置を鳴子温泉で行い、データ収集は平成26年7月まで実施した。蒸気発電システムの設置を小浜温泉に設置し実証実験を行った。研究開発進捗報告委員会は延べ11回実施し、外部専門家招聘評価委員会を3回開催した。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発			腐食・スケール付着 分析・対策		熱交換器の設計・試作・評価							
②-1スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの一次試作		一次試作		性能評価								
②-2スクロール型蒸気膨張機と蒸気発電システムの二次試作				二次試作		性能評価		実証試験				
③-1ハイブリッド発電システムの実証試験						設計・製作		実証性能試験				
③-2スケール抑制採熱手法と発電量最大化技術開発								実証試験				
④事業性・市場性確保のための検討と開発への反映		事業性・市場性検証・開発への反映										

図Ⅱ(2.3)-3 研究開発のスケジュール

(2.4)スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

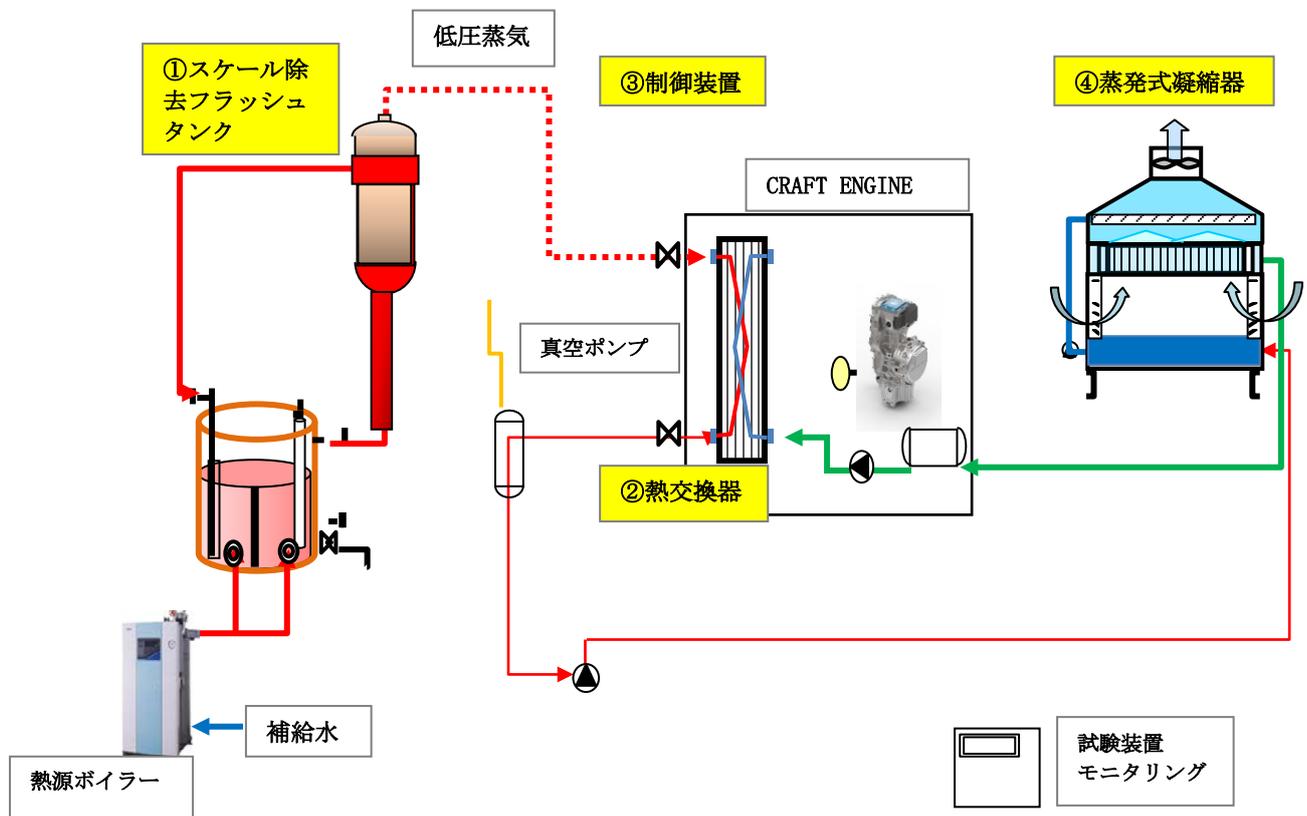
(2.4.1)背景と目的

近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が進みつつある。我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大に資する技術開発を行うことを本事業の目的とする。

本事業では、低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発として、「スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発」を実施する。

(2.4.2)研究開発の概要

- ①実現可能性調査の実施
- ②スケール除去フラッシュタンク開発
- ③高効率蒸気/冷媒熱交換器開発
- ④低圧蒸気制御システム開発
- ⑤蒸発式凝縮器開発



図Ⅱ(2.4)-1 市川研究所試験機器フロー図

表 II (2.4)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
スケール除去フラッシュタンク	100℃温泉水を低圧58kPa程度で85℃蒸気を抽出し、スケール除去を可能にする。	多量に発生する大きな液滴を重力沈降で分離する事によりスケール成分の随伴を防ぐ。
高効率蒸気/冷媒熱交換器	低圧蒸気を取り入れて、冷媒と熱交換する。	蒸気の凝縮温度と冷媒の蒸発温度の差が 5℃ 以下、熱貫流率 1.7 kW/m ² K 以上の維持を可能にする。
低圧蒸気制御システム	低圧蒸気に含まれるイナートガスを排出、起動時に低圧を保つ。	30分以内に58kPa程度に減圧して運転を可能にする。
蒸発式凝縮器(コンパクトエバコン)	冷媒保有量を従来比1/10以下、凝縮温度を冷却水温度+3℃以下とする。	凝縮温度を冷却水温度+3℃以下にする。

(2.4.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年8月8日より平成29年 3月までで、主な事業スケジュールの概要を図 II (2.4)-2に示す。平成26年度後期から平成27年度3月にかけて設備の詳細設計及び製作を行った。研究推進委員会は1回実施した。

事業項目	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度(予定)
開発機器の設計・製作	←→		
市川研究所に於ける性能試験・確認		←→	
温泉井戸に於ける総合性能試験			←→
研究推進委員会	◆	◆ ◆	◆ ◆

図 II (2.4)-2 研究開発のスケジュール

(2.5)環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

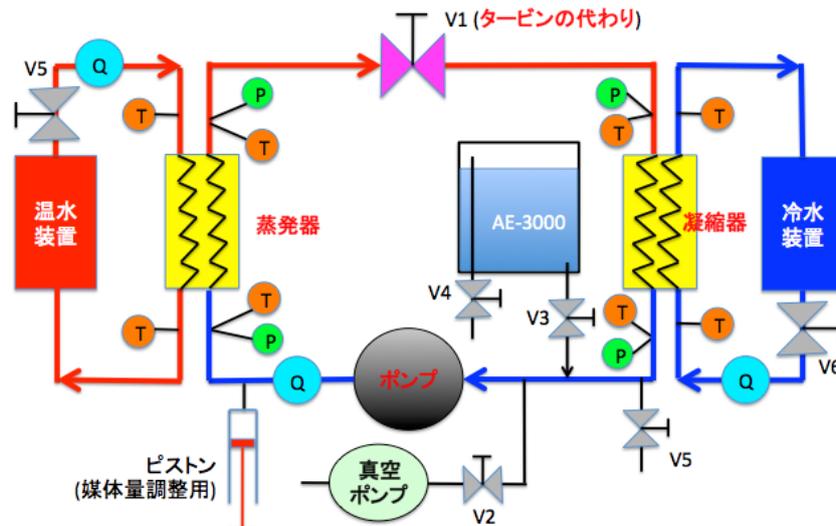
(2.5.1)背景と目的

我が国では温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用し地域分散型の電源として利用できるバイナリー発電の導入拡大が期待されている。従来、バイナリー発電にはいくつかの低沸点流体が用いられているが、炭化水素系(*n*-ペンタン)は可燃性であり、アンモニアは毒性があるため、集客施設や居住地域には不向きである。また、既存のHFC系はオゾン破壊係数(ODP)がゼロであるが、R245faは地球温暖化係数(GWP) 950、AE3000(旭硝子社製)はGWP 580、じょ限量50ppmであり、安全性(可燃性、じょ限量)、GWPについてさらなる検討が必要と考えられている。

本研究では、環境負荷、安全性に加え、熱効率向上およびシステムの小型化のために、粘性係数、熱伝導率、潜熱などの熱流動特性も考慮した、未利用温泉熱の有効活用ができる新たな高性能低沸点媒体を開発することを目的とする。

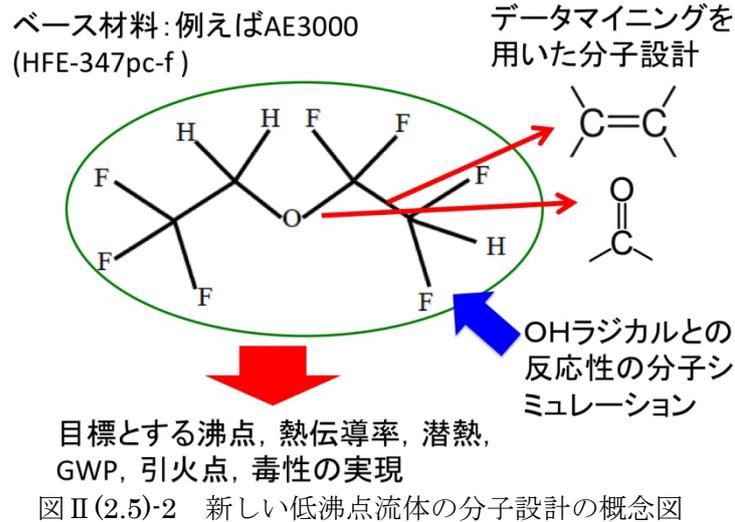
(2.5.2)研究開発の概要

温泉バイナリー発電用高性能低沸点流体の伝熱解析により、サイクル解析、熱交換器の数値解析・基礎実験に基づき、低沸点流体の熱物性値に対する指針を獲得する。特に、粘性係数、熱伝導率、潜熱などの低沸点作動流体の熱流動特性が、バイナリー発電のエネルギー変換効率、発電システムの必要設置面積に大きな影響のある熱交換器体積に与える感度を求め、熱流動特性から要求される低沸点流体の物性値に対する指針を得る。そして、新たに分子設計・合成された低沸点流体のバイナリー発電の作動流体としての特性を、模擬発電システム(図II(2.5)-1)を用いて系統的に評価する。



図II(2.5)-1 疑似バイナリー発電システム

温泉バイナリー発電用高性能低沸点流体の開発においては、上記伝熱解析により獲得される低沸点流体の設計指針を基に、分子シミュレーションを用いて、沸点、じょ限量、GWP、不燃性に加えて熱流動特性を満たす高性能作動流体の候補を検討し、その物質を合成するための合成ルートを検討する(図II(2.5)-2)。



本研究では以下の事業項目を実施する。

<温泉バイナリー発電用高性能低沸点流体の伝熱解析>

①熱交換器シミュレーションによる流体の熱物性値に対する指針獲得

既存のバイナリー発電システムにおいて、熱交換器の占める体積割合は大きく、熱交換器の小型化がシステムの小型化に直結する。低沸点作動流体の熱流動特性がバイナリー発電のエネルギー変換効率、熱交換器(蒸発器および凝縮器)体積に与える感度を数値解析・基礎実験により明らかにし、熱流動特性から低沸点流体に要求される物性値について指針を示す。

②低沸点流体の伝熱性能評価用疑似バイナリー発電システムの構築

低沸点流体の伝熱性能を評価できる疑似バイナリーシステム・テストベンチを構築するため、既設の熱交換器評価実験装置(発電量100W相当)を改良し、計測精度の向上、動作条件の拡大を図る。また、発電量3kW相当のバイナリーサイクル実験装置を新設する。既存の低沸点流体(例えばAE3000)を用いて比較データを取得するとともに、新低沸点流体と既存流体との比較を行い、伝熱性能を総合的に評価する。

③数値解析を用いた新しいバイナリー発電用熱交換器構造の検討

熱交換器(蒸発器および凝縮器)内の熱流動現象は気液相変化を伴う複雑な多相熱流動となり、従来熱交換器の大幅なコンパクト化を実現するためには、詳細な熱流動構造に基づいた新たな熱交換器設計が必須となる。そのため、気液相変化を伴う熱交換器内の複雑な熱流動を精度良く解析するための数値解析技術を開発し、新低沸点流体を仮定した蒸発器・凝縮器の熱流動解析を実施する。それに基づき、よりコンパクトな熱交換器を設計するための指針を得る。

④疑似バイナリー発電システムを用いた新低沸点流体のデータ取得

新規作動流体を用いて疑似バイナリー発電システムにより実験を行い、実際の運転を模擬した条件で伝熱性能を評価する。

⑤コンパクトなバイナリー発電システムの提案

新規作動流体を用いたコンパクトなバイナリー発電システムを構成するための具体的な指針を与える。

<温泉バイナリー発電用高性能低沸点流体の開発>

⑥高性能低沸点作動流体の構造設計

データマイニング、分子シミュレーションを用いて、沸点30～50℃程度、ODPほぼ0、GWP100以下、じょ限量200ppmより大きい（電気事業法改正に伴う緩和規制対象ガス）、不燃性、潤滑油との適合性に加え、伝熱特性についての要求を満たす高性能作動流体の構造設計を実施する。

⑦高性能低沸点作動流体の合成

温泉バイナリー発電システムとして利用可能な新しい高性能作動流体の候補構造に対し、合成ルートを開発するための予備検討を実施する。また、新低沸点流体の合成ルートを考案し、実際の合成を行う。

⑧高性能低沸点作動流体の物性値評価

沸点、ODP、GWP、熱伝導率、潜熱などの物性値を計測し、総合的な物性値評価を行うとともに、初期的な毒性評価を行い、目標が達成できたかどうかを評価する。

表 II (2.5)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	中間目標 (平成27年度末)	最終目標 (平成29年度末)	目標レベル設定の根拠
①流体物性値の指針獲得	伝熱特性から要求される流体物性値の指針獲得		伝熱性能を考慮した流体開発を行うために必須である。
②疑似バイナリーシステム・テストベンチ構築	熱交換器評価実験装置の改良	疑似バイナリー発電システムの構築	低沸点流体の伝熱性能を評価できる疑似バイナリーシステム・テストベンチの構築を段階的に進める。
③新熱交換器構造の検討	熱交換器3次元数値解析技術の構築	新熱交換器構造の提案	詳細な熱流動構造に基づいた新たな熱交換器設計を行う。
④新作動流体データ取得	FY29・1Q以降開始	・新流体の伝熱性能評価 ・既存流体との比較	新流体の伝熱性能を系統的に評価し、既存流体との相違を明らかにする。
⑤コンパクトシステムの提案	FY29・3Q以降開始	新流体を用いた小型システムの提案	新流体によるシステム小型化への指針は重要である。
⑥高性能低沸点作動流体の構造設計	高性能作動流体の候補構造の決定		情報科学的なアプローチにより同定が可能となる。
⑦高性能低沸点作動流体の合成	合成ルート開発の予備検討	要求仕様を満たす新流体の合成	現有の含フッ素化合物合成技術を生かすことで合成ルートの開発が可能となる。
⑧高性能低沸点作動流体の物性値評価	FY28・4Q以降開始	・沸点30～50℃程度、ODPほぼ0、GWP100以下 ・初期的なじょ限量評価	低温域のバイナリー発電用低沸点流体への要求仕様をすべて満たす。毒性評価には長期間を要する。

(2.5.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成 26 年 12 月 25 日から平成 28 年 3 月 20 日までである。事業スケジュールの概要を平成 28 年度以降のスケジュール(予定)とともに図 II (2.5)-3 に示す。平成 26 年度から平成 27 年度上半期にかけて、研究開発が順調に進行している。平成 27 年 4 月に第一回研究推進委員会を開催し、外部有識者との情報交換および本事業の方向性に関する討議を行った。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①熱交換器シミュレーションによる流体物性値の指針獲得				指針獲得												
②低沸点流体の伝熱性能評価用疑似バイナリー発電システムの構築				テストベンチ構築												
③数値解析を用いた新熱交換器構造の検討				熱交換器構造の検討												
④疑似バイナリー発電システムを用いた新低沸点流体のデータ取得													データ取得			
⑤コンパクトなバイナリー発電システムの提案															システム提案	
⑥高性能低沸点作動流体の構造設計				構造設計												
⑦高性能低沸点作動流体の合成								合成								
⑧高性能低沸点作動流体の物性値評価													物性値評価			

図 II (2.5)-3 研究開発のスケジュール

(2.6)水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

(2.6.1)背景と目的

近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が、米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大に資する技術開発を行うことを本事業の目的とする。

バイナリー発電が温泉業との共存を図る上で、安全性や環境性の高いシステムであることが重要な条件であり、本事業では、危険性や環境汚染の心配がなく廃棄処理等の対策が不要な水を作動媒体として用いる発電システムを開発する。これにより、バイナリー発電のユーザーや地域社会への受容性を高める。

(2.6.2)研究開発の概要

① 全体システムの設計・開発(担当:(一財)エネルギー総合工学研究所)

20kW級発電システムおよび温排水を利用した実証試験用システムの基本設計を行う。20kW級発電装置および温排水を利用した実証試験用システム向けに媒体循環ポンプを用いた制御システムを開発する。温排水を用いたフィールドテスト用実証システムのコストおよび採算性について評価する。また、温泉水を利用した実証試験用システムの基本設計を行う。

② 発電装置の開発(担当:(株)アーカイブワークス)

ツインエンタータービン、水潤滑軸受、可変ノズル機構等の要素技術開発を組み込んだタービン発電機を設計、試作する。システム送電端で発電効率6%以上を達成すべく、各要素技術開発を実施し、それらを組み込んだタービン発電機を開発する。また、内容③の成果を取り込んだ熱交換器を高温度効率化・低圧損化する開発を行い、タービン発電機と組み合わせた20kW級発電装置を製作し、性能試験を行う。

③ 熱交換器の高性能化の研究(担当:(国)東京大学)

20kW級発電装置において、システム送電端で発電効率6%以上を達成するため、蒸発器、及び凝縮器の流動条件を決定し、これを反映させた数値モデルを構築する。

蒸発器、凝縮器の温水、及び冷水の単相流のシミュレーションを行い、圧力損失、及び伝熱性能を評価する。東京大学で開発された形状最適化アルゴリズムを適用し、流路形状の最適化を行う。また、得られた最適な伝熱面形状に関して、数値シミュレーションの妥当性を検証する。

④ フィールドテスト(担当:エネルギー総合工学研究所、アーカイブワークス、東京大学)

温排水を利用する発電装置をフィールドテストサイトに設置し、発電システムの運転を行い、性能評価を行う。

平成28年度以降に実施予定の温泉水を用いた実証試験に向けて、試験機の設置サイトを選定し、温泉水や冷却水の供給条件、発電電力の使用方法等を確定する。

⑤ 研究推進委員会の開催(担当:(一財)エネルギー総合工学研究所)

本事業を計画的かつ効率的に遂行するために、小型バイナリー発電研究推進委員会を設置し、平成26年度に1回、平成27年度に3回の委員会を運営する。

表Ⅱ(2.6)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
① 全体システムの設計・開発	20kW級バイナリー発電装置を開発し、温水温度85℃以下、冷却水温度15℃で送電端発電効率6%以上を実証	発電効率は利用できる温水と冷却水の温度に依存するため、温度条件を設定した。H27年度末の中間目標で6%以上、H29年度末の最終目標で7%以上を目指す
② 発電装置の開発		
③ 熱交換器の高性能化の研究		
④ フィールドテスト	温排水が供給可能な地点へシステムを設置して連続運転試験を行う。温水温度65℃において送電出力できる事を実証	温水温度低下によって発電量が低下するため
⑤ 研究推進委員会の開催	小型バイナリー発電研究推進委員会をH26年度1回、H27年度3回開催	H26年度は年度成果と次年度計画の確認 H27年度は3回目にフィールドテストの視察を予定

(2.6.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年12月25日から平成28年3月20日までである、主な事業スケジュールの概要を平成28年度以降の参考スケジュールと共に図Ⅱ(2.6)-1に示す。平成26年度内に発電システムの設計を行い、平成27年度上期に装置の製作、下期に運転を予定している。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①全体システムの設計・開発		システム設計			制御システム開発				効率向上検討							
					コスト・採算性評価								コスト・採算性評価			
②発電装置の開発		流動解析・試作						設計/製作/改良								
													運転			
③熱交換器の高性能化の研究		コード開発			単相流側最適化				相変化側最適化							
④フィールドテスト(温排水システム)				設計/製作/設置									運転評価			
④フィールドテスト(温泉水システム)							設計/製作/設置						運転評価			
⑤委員会設置・運営				△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

図Ⅱ(2.6)-1 事業スケジュール

(3)発電所の環境保全対策技術開発

(3.1)硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発

(3.1.1)背景と目的

エネルギー自給率がわずか4パーセントの我が国において、平成23年3月11日に発生した東日本大震災以降、国内の電力供給能力が著しく低下している中で、ベースロード電源としての地熱発電への期待の高まりから、各地で地熱発電開発の計画が進められている。既に復興予算などが福島県内の地熱発電プロジェクトなどに投入され、地元での説明会が開かれるようになってきている。平成25年4月から環境影響評価手続きに配慮書・方法書・準備書・評価書と一連の文書が求められるようになったことにより、手続きに要する期間が全体で4年超と長期間にわたることが、地熱開発を進める上での障害となっており、手続きに要する期間の短縮への期待が大きい。

地熱発電所に係る環境影響評価では、国のガイドラインである「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引」（平成27年、経済産業省電力安全課）があり、採取した地熱流体を起源として稼働時に冷却塔から大気放出される硫化水素の拡散予測については、以下が「参考手法」とされている。

「その着地濃度の予測は地形、建物の影響及び排気の上昇過程の相似性を考慮した風洞実験により行う。なお、風洞実験に代替できる数値計算モデルが開発された場合は、それに基づく理論拡散式で硫化水素の着地濃度を予測する。」

上記は「環境影響評価法」（平成9年）施行後の手引きであり、これに基づく実施例は存在しないが、過去に「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について」（昭和52年、通産省省議決定）により行われた環境影響評価では、いずれの地熱発電所計画も、風洞実験による予測が行われている。

この風洞実験に要する事業者の時間的・経済的負担は大きく、一方、これを解決する手段である「風洞実験に代替される数値計算モデル」が現状では存在しない。このため、「発電所設置の際の環境アセスメントの迅速化等に関する連絡会議 中間報告」（平成24年11月、環境省・経済産業省）において、「経済産業省は、地熱発電において、硫化水素に係る環境影響を予測するために必要な風洞実験に要する期間を短縮するため、当該予測に用いる計算シミュレーションの開発等について検討する。」とされたところである。

本研究は、国の地熱開発促進への取組みの一環として検討が進められる環境アセスメント迅速化方策の一つとして提言されている硫化水素拡散予測評価期間短縮化の必要性に鑑みて、予測評価期間および費用を半減するための、風洞実験に代わる硫化水素拡散予測数値モデルを開発することにより、環境アセスメントの円滑化に資することを目的とする。

(3.1.2)研究開発の概要

本研究では、地熱発電所に係る環境アセスメントの際の硫化水素拡散予測評価に要する期間および費用の半減を目標として、CFD(Computational Fluid Dynamics)の汎用コードを用いて、風洞実験の代替となり得る硫化水素拡散予測数値モデルの開発を行う。そのため、国内の地熱発電所等における硫化水素放散に関する環境影響評価等の先行事例の調査に基づき、予測上考慮すべき因子を抽出し、数値モデル構築に当たり考慮すべきパラメータ等を明確化する。次に抽出した硫化水素拡散挙動影響因子の影響を踏まえて、CFDの汎用コードを用いて数値モデルを構築する。

さらに、開発モデル検証のための風洞実験を実施し、風洞実験結果と数値モデルによる予測評価結果の比較により、開発モデルの性能評価を行う。また、開発モデルの環境アセスメントへの適用を想定して、国のガイドラインである「発電所に係る環境影響評価の手引」への反映を図るべく、当該手引の変更案の検討を行う。

表Ⅱ(3.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①硫化水素の拡散挙動の調査	硫化水素拡散予測評価を実施する上で考慮する必要のある、硫化水素の拡散挙動に影響する因子を明確化するとともに、拡散予測数値モデル構築に当たり、考慮すべきパラメータ等を明確化することを目標とする。	◆地熱発電開発の迅速化 環境アセスメントにおける硫化水素拡散予測の風洞実験は期間とコストを要し、期間短縮と費用低減が必要。
②硫化水素拡散予測数値モデルの構築	先行事例の風洞実験結果との比較検討を通じて改善を図り、風洞実験の代替となり得る数値モデルを構築する。	◆課題 硫化水素拡散予測評価のための風洞実験に代替できる手法が無い。
③硫化水素拡散予測数値モデルの性能評価	開発する数値モデルが、環境影響評価において風洞実験に代替可能であり、これを用いた予測評価が、風洞実験を用いた予測評価に比べて、効率的かつ効果的であることを検証すること、並びに開発する数値モデルを検証するための適切な風洞実験を実施することを目標とする。	◆対策 風洞実験に代わる硫化水素拡散予測シミュレーションモデルを開発し、従来の風洞実験によりも、評価期間と費用の低減を図る。

(3.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年9月2日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.1)-1に示す。平成25年度後期は、硫化水素の拡散挙動に影響する因子ならびに拡散予測評価シミュレーションモデル構築に当たり考慮すべきパラメータ等を明確化した。平成26年度は、過去の風洞実験結果との比較検証を通じて硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの構築ならびにH27年度に実施する性能評価のための風洞実験計画を策定した。平成27年度は、風洞実験の実施、CFD計算結果と風洞実験結果の比較による性能検証ならびに環境影響評価手法への反映検討を実施しているところである。また、有識者委員会は延べ2回実施した。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①硫化水素の拡散挙動の調査	← 影響因子調査/数値モデル予備検討 →											
②硫化水素拡散予測数値モデルの構築					← 数値モデル構築 →							
③硫化水素拡散予測数値モデルの性能評価					← 風洞実験計画策定 →				← 風洞実験実施 →			
④環境アセスメント手法確立へ向けた取組									← 数値モデルの性能評価 →			
												← 環境影響評価手引への反映検討 →

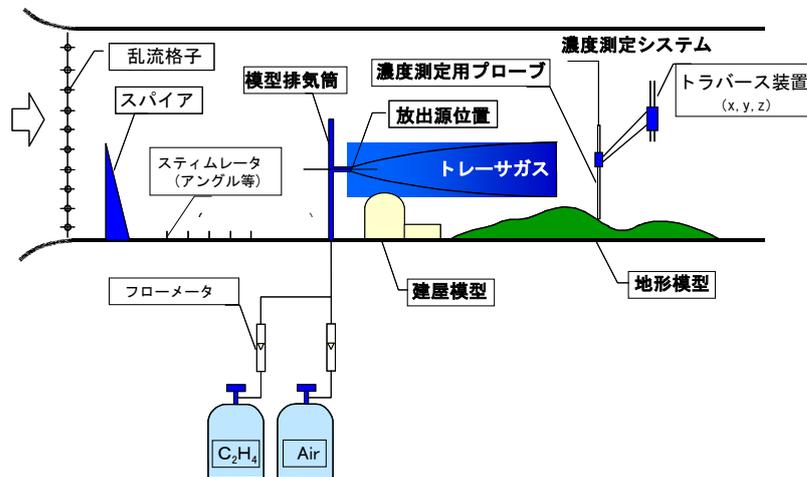
図Ⅱ(3.1)-1 事業スケジュール

(3.2)地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発

(3.2.1)背景と目的

2010年6月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、その中で、地熱発電は2030年までに設備容量165万kW(2007年度実績 53万kW)、発電電力量103億kWh(2007年度実績 30億kWh)の導入拡大が掲げられている。2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。

地熱発電所建設時の環境アセスメントでは、冷却塔からの排気に含まれる硫化水素について、発電所計画地点周辺における着地濃度を予測することが定められている。硫化水素の拡散は、周辺の地形および冷却塔建物の影響を大きく受けるため、その予測は地形、建物の影響および排気の上昇過程の相似性を考慮した風洞実験により行う(図II(3.2)-1)。「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引」(経済産業省 電力安全課)には、「風洞実験に代替できる数値モデルが開発された場合は、それに基づく理論拡散式で予測する」と示されているが、地形、建物の影響および排気の上昇過程を再現できる数値モデルはこれまで開発されていない。風洞実験の実施には、実験設備確保や模型製作、実験実施期間の制約から予測評価が長期化する懸念があることから、硫化水素の拡散予測に用いる数値モデルの開発が課題となっている。



図II(3.2)-1 風洞実験を用いた排ガス拡散予測手法の概要

これまで、火力発電所の環境アセスメントおよび原子力発電所の安全解析の分野では、風洞実験の代替として数値モデルの開発・実用化が進められてきた。火力発電所に係る環境アセスメントで使用されている排ガス拡散予測数値モデルは、約100m以上の点源(煙突)から排出される硫黄酸化物および窒素酸化物等の大気拡散を対象とし、周囲の地形影響を考慮して風下20~30km範囲の地表濃度および最大着地濃度を予測する。敷地内の建物の影響等は考慮しない。一方、原子力発電所の安全解析における放出源の有効高さを求めるための数値モデルは、高さ数10m~100m前後の点源(排気筒)から放出される放射性物質の大気拡散を対象とし、周囲の地形や建物の影響を考慮して風下5km範囲の地表濃度分布より放出源の有効高さを評価する。火力発電所および原子力発電所を対象とした数値モデルはいずれも比較的高所に位置する点源からの排ガス拡散を対象としているため、排ガスの上昇過程に与える地形、建屋の影響は考慮していない。これに対し、地熱発電所は一般に山岳地域に建設されることが多いため、周囲の地形影響が顕著であり、また冷却塔は高さが数10m程度と低いため、浮力および運動量を有する排気の上昇・拡散過程に与える地形、建屋の影響を考慮することが重要となる。このことから、火力・原子力発電所用の数値モデルをそのまま地熱発電所の硫化水素拡散予測に適用することはできない(表II(3.2)-1)。

表Ⅱ(3.2)-1 発電所を対象とした排ガス拡散数値モデルの概要

発電所 (モデル名)	排ガス 拡散物質	放出条件&拡散への影響要因			評価対象	備考
		放出条件	影響要因・建屋	影響要因・地形		
火力発電所 (地形影響モデル)	硫黄酸化物 窒素酸化物 など	①放出位置 : 点源 (煙突) ②排ガス上昇 : 対象外 ③放出高さ : 約 100m 以上	・影響なし (静力モデル)	・影響あり (敷地内は無し)	(1)範囲 : 風下 30km (2)評価項目 : 地表濃度・最大濃度	・経産省の手引き に反映済み。
地熱発電所 (詳細モデル)	硫化水素	①放出位置 : <u>面源 (冷却塔)</u> ②排ガス上昇 : <u>浮力+運動量</u> ③放出高さ : <u>数 10m 程度</u>	・影響あり (非静力モデル)	・影響あり (敷地内外、 非常に複雑)	(1)評価範囲 : 風下 5km (2)評価項目 : 最大濃度	・当該研究開発テーマとして実施
原子力発電所 (有効高さ評価モデル)	ヨウ素 希ガス など	①放出位置 : 点源 (排気筒) ②排ガス上昇 : 対象外 ③放出高さ : 数 10~100m 前後	・影響あり (非静力モデル ~建屋影響を解像 するため。)	・影響あり (敷地内外、複雑 な場合もあり)	(1)評価範囲 : 風下 5km (2)評価項目 : 放出源の有効 高さ	・原子力学会の実 施基準として反映 済み。 ・原子力発電所の 安全性の解析の一 環。

本研究開発では、地熱発電所に係る環境アセスメントにおける排ガス拡散予測評価に必要な期間の短縮および費用削減を目的とし、風洞実験の代替として用いることができる硫化水素拡散予測数値モデルを開発する。

(3.2.2)研究開発の概要

本研究開発では、地熱発電所周辺の地形起伏や冷却塔建物高さ、排ガス諸元等の適用条件やモデル開発に要する期間、費用等を考慮して、簡易予測数値モデルおよび詳細予測数値モデルの二種類の硫化水素拡散予測数値モデルを開発する。至近の地熱発電所の環境アセスメントでの手続きの迅速化が求められる際には、簡易予測数値モデルの適用を図るとともに、その後の詳細な適用条件の再現が求められる際には、詳細予測数値モデルの適用を図る。開発した数値モデルを実用化し、実際の発電所の環境アセスメントで使用することが可能となるよう、有識者により構成される委員会を設立して研究評価を受けるとともに、技術の公知化および各種規定類への反映を図る。風洞実験の代替として用いることができる硫化水素拡散予測数値モデルを開発することにより、環境アセスメントにおける拡散予測評価に必要な期間(現行の風洞実験では約6ヶ月)および費用を半減させることを目標とする。

表Ⅱ(3.2)-2 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①硫化水素拡散予測数値モデルの開発	地熱発電所に係る環境アセスメントにおける排ガス拡散予測評価に必要な期間および費用を半減させることを目標とし、現行のアセスで行われている風洞実験の代替として用いることができる硫化水素拡散予測数値モデルを開発する。	発電所の排ガス拡散予測については、既に火力発電所および原子力発電所を対象とした数値モデルが開発され、実用化に至っている。いずれも風洞実験を実施する場合に比べて期間・費用の大幅な削減が可能となっている。

(3.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年8月1日から平成28年2月28日までで、事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.2)-3に示す。平成25年度後期から平成27年度前期にかけて数値モデルの開発および精度検証用実験データの取得・整備を行った。実験データとの比較に基づく妥当性確認は平成27年末まで実施する。調査検討委員会は延べ6回実施する。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①地熱発電所周囲の地形概況調査			← 調査・検討 →									
②硫化水素拡散予測手法の調査および既存の環境影響調査結果の整備・解析		← 事例調査・データ整備 →										
③排煙上昇過程の検討			← 風洞実験 →									
④簡易予測数値モデルの開発			← 開発・改良 →									
⑤詳細予測数値モデルの開発			← 開発・改良 →									
⑥数値モデルの妥当性確認								← 妥当性確認 →				
⑦環境アセスメント手法確立へ向けた取組			← 評価・公知化 →									

図Ⅱ(3.2)-3 研究開発のスケジュール

(3.3)温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

(3.3.1)背景と目的

我が国における地熱エネルギーの開発には多くの阻害要因が存在するが、それらの中には、地熱発電と温泉との共存という我が国固有の問題が存在する。温泉事業者の多くは地熱発電に起因する温泉湧出量の減少や、泉質の変化に対して危惧を抱いているため、地熱発電所の開発や運転に反対の意思を示す事例が多い。

発電事業者と温泉事業者間の合意を形成するためには様々な方策があるが、温泉変動に関する正確なデータを取得し、それに基づいた科学的な説明を行うことが問題解決につながるひとつのアプローチである。しかし、温泉の泉質や湧出量は様々な要因により、短期的、長期的に変動している事例がある(例えば池田、東野、1984)ため、現在行われているスポット的な温泉モニタリングでは変動を正確に把握することは困難である。温泉変動をより正確に把握するためにはサンプリング間隔を密にすればよいが、コストの制約から現状の方式で実現するのは容易ではない。正確かつ連続的な温泉モニタリングの重要性については、ガイドライン、報告書等でも言及されているが(NEDO、環境省、日本地熱学会等)、そのための専用ハードウェアの開発は行われていないことが、温泉モニタリングを実現する上での大きな問題となっている。

本事業は、上述の背景を鑑み、温泉の変動を遠隔モニタリング可能な機器を開発することを目的として実施している。本機器はプラグイン型センサユニット、フレキシブル配管インターフェース、有線/無線インターフェース等より構成され、泉質や設置場所の状況に応じて構成を容易に変更可能なものとし、1,000台程度導入時に一台20万円程度の価格となることを目指す。現在、国内には27,000を超える源泉があり(環境省、平成24年)、これらの1割で本モニタリング装置が使用されれば、5億4000万円程度の売り上げを見込め、また、メンテナンスにかかるビジネスも創出される。

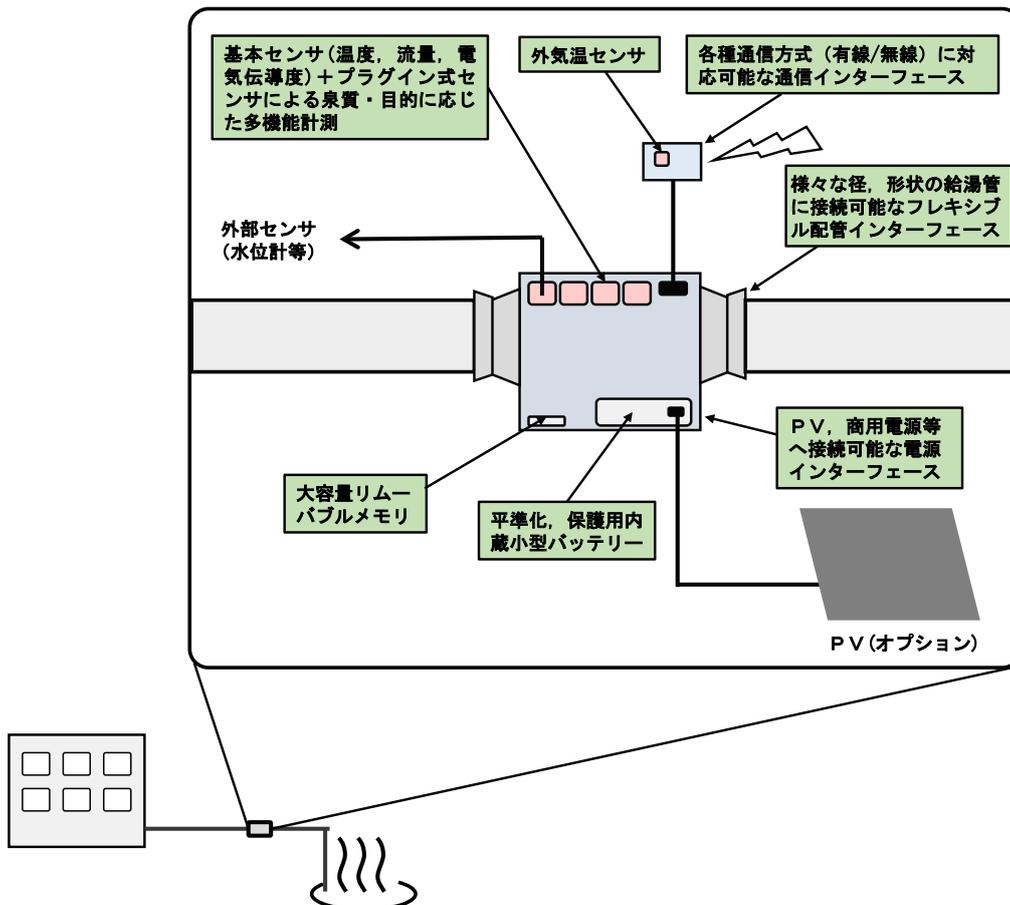


図 II (3.3)-1 本事業で開発する温泉モニタリング装置の概念図

温泉は多様な泉質を有し、また、揚湯ポンプ、貯湯装置等、事例により異なる様々なシステム

を介して利用されている。また、温泉地域の多くは山間地にあり、電源や高速通信回線の利用に制限が加えられることが多い。これらのことを踏まえて、本事業では以下の特徴を有する装置を開発する。

- (a)温泉配管に取り付けることを基本とし、様々な配管へ取り付け可能な配管インターフェースを具有。
- (b)温泉の基本的なデータ(温度、管内流量、電気伝導度)を測定する機能を有し、温泉井の水位、各種化学物質濃度等のモニタリングをプラグイン式センサにより実現可能。
- (c)取得したデータに有意な変化が現れた場合、通信回線を介して管理者へ連絡する機能を具有。
- (d)センサは、耐熱性を有することに加え、自己洗浄機能、性能劣化自己診断機能を有し、熱や鉱物析出等の影響に対し頑強。
- (e)現地の状況に応じて携帯電話回線、有線回線等を選択可能。
- (f)現地の状況に応じて商用電源、PV、バッテリーから給電可能。
- (g)バックアップ用大容量メモリを内蔵し、通信回線の遮断や、電源機能の低下時にもデータの損失を回避可能。

(3.3.2)研究開発の概要

本事業では平成26年9月から平成30年3月末までの期間に、以下の研究開発を実施する。

①温泉モニタリング装置の設計

- ①a.現状調査・予備試験:流体モニタリング用センサ、OA用マイコン機器、データ通信方式、温泉での配管について現状調査を行う。また、本装置での使用が想定されるセンサの試験等を行う。
- ①b.概念設計:本装置の外形、構造、素材、機能を決定するとともに、現状調査・予備試験の結果を参考に、各部の詳細仕様を決定する。
- ①c.詳細設計:本装置の形状・構造、電子回路部、ソフトウェア部について詳細設計を行う。

②温泉モニタリング装置の試作

- ②a.プロトタイプ試作:温泉地での実証試験に使用可能なプロトタイプを試作する。
- ②b.室内性能評価実験:産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所内に温泉配管を模擬した実験装置を設置し、プロトタイプ装置の性能評価を実施する。

③実証試験:

東北地方を中心とする、泉質の異なる複数の温泉地に本装置を設置し、データを取得する。データの信頼性、実用性能等について評価する。

④実用モデル設計・試作

- ④a.実用モデル設計:室内性能評価試験、および実証試験の結果をもとに、実用モデルの最終設計図、回路図、フローチャート等を作成する。
- ④b.実用モデル試作:実用モデルを製作し、室内性能評価装置を用いて性能を評価する。

⑤開発推進委員会の開催:

温泉研究者、センシング技術等を専門とする有識者からなる開発推進委員会を設置し、本事業に対する評価、および助言を得る。

⑥まとめ:

本装置の実用化時の製造コストならびにコスト低減のための手法、本システムに今後必要となる改良点、本装置の運用法に関する提言等を取りまとめる。本装置の設計図、主要ソフトウェア等を公開する。

平成27年度末の達成目標は以下の通りである。

*以下の仕様を満たす室内実験用プロトタイプ装置を実現する。本装置に組み込まれるセンサ部の性能は市販センサの代表的性能と同等である。

外形： 600 mm(W)×500 mm(H)×500 mm(D)程度
 重量： 10 kg以下
 温泉水温度： 60 °C以下
 流量測定能力： 範囲 10～100 L/min、分解能 0.1 L/min
 温度測定能力： 範囲 0～60 °C、分解能 0.1 °C
 電気伝導度： 0.01 mS/cm
 プラグインセンサ： 水位計、水温計を接続可能
 サンプルングレート： 0.1 sample/min
 データ通信： 3G回線を使ったデータ転送が可能

*本装置の量産時目標価格である20 万円で実現できる見込みを具体的に示す。

また、平成29年度の本事業終了時点での達成目標は以下の通りである。

*温泉地域で長期(1年以上)にわたり連続使用可能なモニタリング装置のプロトタイプを実現する。本装置は以下の仕様・性能を有する。

外形： 300 mm(W)×200 mm(H)×200 mm(D)以下
 重量： 4 kg以下
 温泉水温度： 80 °C以下
 流量測定能力： 範囲 10～100 L/min、分解能 0.1 L/min
 温度測定能力： 範囲 0～80 °C、分解能 0.1 °C
 電気伝導度： 0.01 mS/cm
 プラグインセンサ： 水位計、Cl濃度センサ、水温計、圧力センサを接続可能
 サンプルングレート： 1 sample/min
 データ通信： 3G回線、LTE回線、ISDN回線、NTT光回線を使ったデータ転送が可能
 配管インターフェース： 温泉地で用いられている代表的な複数種類の配管への接続が可能

*本装置の量産時目標価格を20万円とし、それを達成するためのコストの削減手法、条件等を提案し、商品化の体制を示す。

表 II (3. 3)-1 研究開発目標と根拠 (FY27年度末の達成目標)

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①温泉モニタリング装置の設計	*国内主要温泉で使用可能なモニタリング装置の仕様を決定し、詳細設計を行う。	*本事業で実施した温泉水利用法現状調査、および現地調査の結果を踏まえ、装置の仕様を決定した。
②温泉モニタリング装置の試作	*温泉模擬実験装置を使用して性能評価が可能なプロトタイプ装置を製作する。 *FY28から実施予定の実証試験で使用可能なプロトタイプ機を製作する。	*本事業で実施した温泉水利用法現状調査、および現地調査の結果を踏まえ装置の仕様を決定し、詳細設計を行っており、FY28から実施予定の長期(1年半程度)実証試験に耐え得る性能を有するプロトタイプ機を実現する。

表Ⅱ(3.3)-2 研究開発目標と根拠(FY29年度末の達成目標)

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
③実証試験	* 東北、九州地方の温泉数カ所で、約一年半の連続モニタリングを実施し、実用上の課題を抽出する。	* 汎用性の高い機器開発を実現するために、本事業で実施した温泉水利用法現状調査の結果から広範な泉質の温泉を対象とする。
④温泉モニタリング装置の試作	* 室内実験、実証試験の結果をもとに実用モデルの最終設計図、回路図、フローチャート等を作成する。 * 実用モデルを製作し、室内実験により性能を評価する。	* 発電事業者、温泉事業者等からのヒヤリング、および過去の温泉泉質調査結果をもとに本装置の仕様を決定しており、室内性能評価実験の安全性等を考慮すれば、概ね妥当な範囲に入っている。

(3.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年度から平成29年度末までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.3)-3に示す。平成26年11月、平成27年3月、平成27年7月に開発推進委員会を開催し、外部有識者からの指導を受けた。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①装置の設計			現状調査・予備試験 概念・詳細設計													
②装置の試作					プロトタイプ試作 室内性能評価試験											
③実証試験									東北・九州地域での実証試験							
④実用モデル設計試作									設計				試作			
⑤開発推進委員会			○	○	○		○	○				○		○		○
⑥まとめ																まとめ

図Ⅱ(3.3)-3 研究開発のスケジュール

(3.4) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

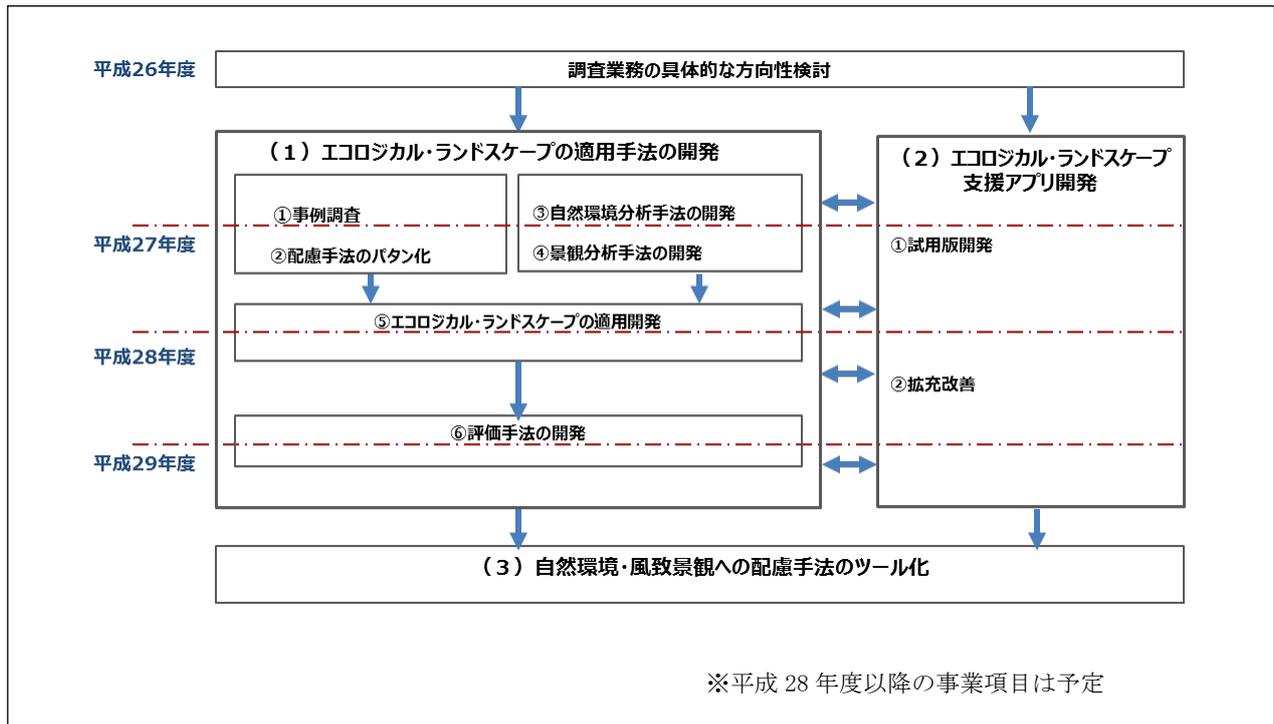
(3.4.1) 背景と目的

現在、我が国のエネルギー政策では、安定的な発電の見込める再生エネルギーの確保の観点から、地熱発電が期待されている。平成24年3月27日には環境省から通知が出され、国立・国定公園内の第2種特別地域及び第3種特別地域でも、特段の取り組みをする場合には地熱開発ができることとなった。この通知では、特段の取り組みの要件として5項目が挙げられているが、そのうちの1項目に「自然環境、風致景観及び公園利用への影響を最小限にとどめるための技術や手法の投入」が挙げられており、現在その技術や手法についてどのように考えればよいかが課題となっている。

本研究開発では、自然環境に配慮してデザインするための設計手法である「エコロジカル・ランドスケープ」を活用することにより、地域の自然環境や風致景観に配慮した地熱発電の開発計画を推進するためのデザイン手法を開発すると共に、その設計支援ツールを開発することを研究開発目標とする。これにより事業者が適用可能な地熱発電の自然環境、風致景観への配慮手法が明確化され、地熱発電開発の合意形成、地熱発電開発の促進に寄与することを目的とする。

(3.4.2) 研究開発の概要

本研究開発では、地熱発電開発でのエコロジカル・ランドスケープの適用手法と、その適用の際に必要な支援アプリを開発する。事業項目とフローを図Ⅱ(3.4)-1に示す。本図に示すように、本研究開発には「①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発」と「②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発」の2つの方向性があり、この2つをまとめる形で「③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化」を行う。それぞれの概要を下記に示す。



図Ⅱ(3.4)-1 研究開発の項目とフロー

①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発

1)事例調査

国内外の地熱発電所10数カ所について、現地調査や文献による調査を実施する。

2)配慮手法のパタン化

調査を実施したそれぞれの発電所で実施されている自然環境・風致景観配慮手法を、エコロジカル・ランドスケープの観点からパタン化する。

3)自然環境分析手法の開発

環境影響評価等で実施される自然環境調査(動物・植物、生態系調査等)の結果に基づき、自然環境の観点での保全重要度を可視化するための分析手法を開発する。

4)景観分析手法の開発

現地調査及びコンピュータ・シミュレーションに基づく可視不可視分析を実施し、その結果に基づき、景観配慮で重要となる主要視点場を特定するための手順を明確化する。そして、その視点場からの風致景観に配慮検討で活用するための、発電所の見え方等についてシミュレーションする「景観分析手法」を開発する。

5)エコロジカル・ランドスケープの適用開発(一部平成 28 年度以降に実施予定)

エコロジカル・ランドスケープを適用した場合と適用しない場合の双方について、地熱発電の施設配置計画のケーススタディを実施し、自然環境、風致景観に配慮した地熱発電開発のプロセスや配慮のイメージを具体化する。

6)評価手法の開発(平成 28 年度以降に実施予定)

「①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発」の「1)事例調査」の結果に基づき、自然環境、風致景観への影響がどの程度であれば、一般的に許容範囲として認識されるのか、事例ごとにその評価手法について検討する。

②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発

1)試用版開発

エコロジカル・ランドスケープを活用して開発した「地域の自然環境や景観に配慮した開発計画を推進するデザイン手法」で必要となる設計支援ツールの試用版を開発する。

2)拡充・改善(平成 28 年度以降に実施予定)

試用版の支援アプリについてケーススタディを実施することで、実用性を高める。

③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化(平成 28 年度以降に実施予定)

「①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発」及び「②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発」での検討結果を統合することにより、エコロジカル・ランドスケープ支援アプリを活用した地熱発電開発の自然環境、風致景観への配慮に関するプロセス、イメージを具体化する。

上記の「①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発」、「②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発」、「③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化」の研究開発目標とその根拠を表Ⅱ(3.4)-1に示す。

表Ⅱ(3.4)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発	既存の地熱発電所で実施されている景観構成要素別の自然環境・風致景観配慮手法をパタン化し、地熱開発事業者が活用しやすい成果物(パタン集)として取りまとめる。	パタン化した結果を、地熱開発事業者が活用できるものとするため。
	ケーススタディに適用可能な、自然環境や景観の分析手法(手順、分析内容)を明確化する。	分析手法を明確化にあたって、まず机上で可能な範囲で検討、取りまとめる必要があるため
	【平成29年度末の予定】 ケーススタディの実施により、エコロジカル・ランドスケープの適用手法を明確化する。	実際の地熱発電所開発で適用可能なエコロジカル・ランドスケープの適用手法を明確化する必要があるため。
②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発	ケーススタディに適用可能なエコロジカル・ランドスケープ支援アプリの試用版を開発する。	エコロジカル・ランドスケープ支援アプリを開発にあたって、まず机上で可能な範囲で検討、取りまとめる必要があるため。
	【平成29年度末の予定】 エコロジカル・ランドスケープ支援アプリを完成させる。	ケーススタディ実施により、実際の地熱発電所開発でエコロジカル・ランドスケープ支援アプリを開発する必要があるため。
③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化	【平成29年度末の予定】 一連の配慮手法をマニュアル化することで「ツール化」する。	研究開発の成果を、実際の地熱発電所開発で適用可能なツールとして取りまとめることで専門知識のない開発事業者もエコロジカル・ランドスケープを利用できるようにするため。

(3.4.3)事業スケジュール

本研究開発の事業期間は、平成26年12月25日から平成30年2月28日までである。主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.4)-2に示す。平成26年度から平成27年度にかけて、「①-1事例調査」、「①-2配慮手法のパタン化」、「①-3自然環境分析手法の開発」、「①-4景観分析手法の開発」を実施すると共に、「①-5エコロジカル・ランドスケープの適用開発」、「②-1アプリ開発：試用版開発」について対応中である。委員会は平成27年度に2回実施する。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発				事例調査												
				配慮手法のパタン化												
				自然環境分析手法の開発												
				景観分析手法の開発												
									エコロジカル・ランドスケープの適用開発							
②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発																
③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化																

図Ⅱ(3.4)-2 研究開発のスケジュール

(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

(4.1)低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

(4.1.1)背景と目的

近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリーサイクル発電(以下 バイナリー発電)発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大が期待されている。

本事業は地熱開発を促進する取り組みとして、地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発、すなわち、地熱資源の有効活用のためのスケール除去技術を開発することである。バイナリー発電は、低温の熱資源を発電に用いており、熱交換器でのスケール付着(とくにシリカ成分のもの)が問題になっている。このシリカスケールに関しては析出してくるメカニズムが複雑であり、対策が難しい。特に、温泉水は多くの溶存成分を含み高濃度であるため、ボイラ給水中の水と比較してはるかに多くのスケール物質が析出する。そのため、温泉水中で発生するスケールを抑制することが求められている。本研究開発によりスケール除去が、スケール以外の源温泉水の成分を変えずに、高速にそして安価に実現することにより、温泉発電の実施が加速され、大きな経済効果をもたらすことが目的である。

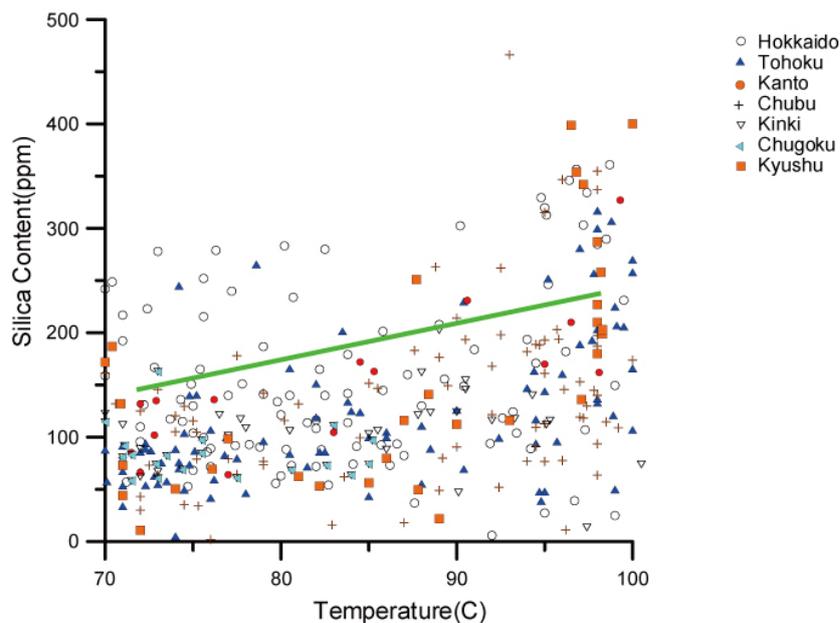
(4.1.2)研究開発の概要

低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

- ・磁気分離による温泉水内シリカ除去のための磁気シーディング工程の評価を実施し、磁気フロックの生成方法と磁気分離方法の設計指針を示した。
- ・温泉水処理能力 5t/h の小型磁気分離装置を製作し、温泉地で実証試験を行った。
- ・既存の温泉データを収集し、温泉発電のポテンシャルを有する地域を抽出するとともに、化学分析値から、シリカスケールの発生する可能性がある温泉の推定を行った。

スケール対策として、スケールが析出する前段において分離除去を行う革新的なスケール除去装置を開発する。具体的には、温泉水からスケールの原因物質であるシリカや炭酸カルシウムなどを含むスケールの除去を行ない、シリカとして200ppmから150ppm程度まで低減させることが可能な磁気分離装置を開発する。

産総研では「深層地下水データベース(高橋ほか、2011)」を構築しており、この中に温泉水の化学分析値などが含まれている。このデータベースには、17,582坑のデータが収録されており、その中で温泉発電に使用できる70°C以上の温泉データは、2196である。この温泉データの中からSiO₂の濃度測定がされている393データを地域別に温度との相関について示す。



図Ⅱ(4.1) - 1 地域別温泉水温度とシリカ濃度

図(4.1) - 1より、北海道のデータはどの温度範囲においてもシリカ濃度がやや大きくなる傾向がある。この北海道のデータのうち、シリカ濃度の高いデータを除いて考えると、ほぼ全国的に図中の緑の線で示した温度とシリカ濃度の関係よりも下の範囲にデータがプロットされ、温泉水に溶存し得るシリカ濃度の上限を示唆していると考えられる。この図から分かるように70°Cにおける温泉水のシリカ濃度は150ppmであることから、シリカ濃度を150ppm以下に下げることができればシリカ成分の析出(シリカスケール)を抑えることができると想定される。よって本装置はシリカ濃度を200ppm程度から150ppmまで低下させることを目標とする。また、本研究においてシリカ濃度と析出するメカニズムを確認し、効率的なシリカ除去システムを構築する。

※参考文献

高橋正明・風早康平・安原正也・塚本齊・佐藤努・高橋浩・森川徳敏・大和田道子・尾山洋一・芝原暁彦・稲村明彦・鈴木秀和・半田宙子・仲間純子・松尾京子・竹内久子・切田司・大丸純(2011)深層地下水データベース.地質調査総合センター研究資料集, no. 532, 産業技術総合研究所地質調査総合センター

研究体制として、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人大阪大学、株式会社超電導機構の3グループによって、それぞれ、主として①スケール成分の調査、②スケール除去のための前処理工程の開発、③磁気分離装置の開発が行われている。磁気分離装置の開発項目を図(4.1) - 2に示す。本事業での研究項目およびその内容は以下の通りである。

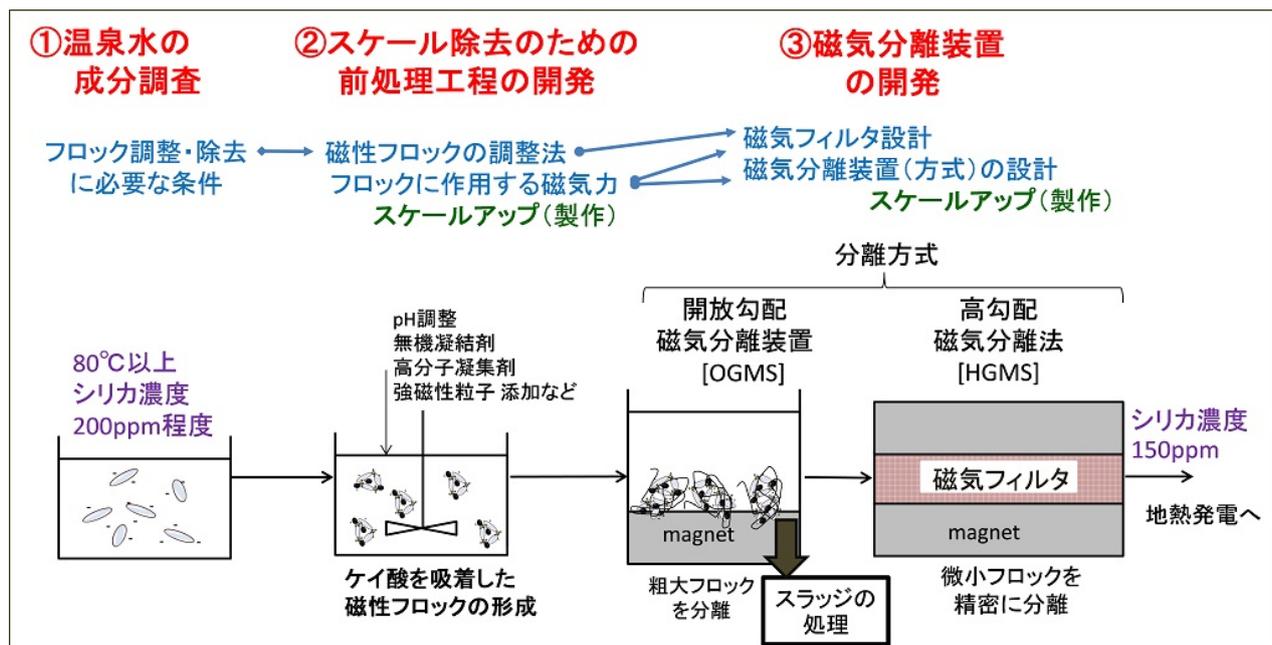


図 II (4.1) - 2 磁気分離装置の開発項目

①スケール成分の調査

バイナリー発電では、70°C程度が発電を実施できる最低温度とされていることから、本事業では、実用的な温泉発電として80°C以上の温泉資源を発電可能な最低温度として設定する。この80°C以上の温度を持つ温泉に対して70°Cまでの熱温度差による発電を行うことを検討する。温泉資源に含まれるスケールには、大きく分けてシリカスケールと炭酸カルシウムスケールがあるが、炭酸カルシウムスケールは、薬剤や酸を加えて処理をすることにより比較的容易に除去することが可能であり、本提案における磁気による分離は、シリカスケールにも有用と考えられることから、温泉の主にシリカスケール成分を分析する。この化学分析結果は、温泉水が地下の温泉帯水層にあるときの温度(地化学温度)を推定することに活用できる。温泉帯水層温度が推定できれば、坑井を掘削して温泉を採取している温泉(<100°C)でも、坑井から直接温泉発電に熱水を導入した場合(>100°C)でも、導入時にシリカ成分がとり得る濃度範囲を予測できる。また、開発中の磁気分離装置に必要な薬剤添加量の参考となる。以上のような目的のため、80°C以上の温泉を調査し、その温泉に含まれるシリカや他の化学成分の分析を行う。

②スケール除去のための前処理工程の開発

溶解しているシリカをフロック化する際に、薬剤の添加量や種類によって、調製されるフロックの性状が変化するため、コストと性能を加味した上での磁性フロックの調製が必要である。さらに調製されたフロックを磁気分離装置で処理する際には、その粒子径や磁化率が分離に必要な磁気力として重要であり、それらを考慮したうえで分離領域での処理流速と磁気フィルタ形状・線径などの諸条件が決定される。前処理工程のスケールアップに伴い、フロック調製の薬剤添加量やその添加方法および攪拌方法の調整が必要となるため、様々な温度や流速条件にも安定な取り扱いができるフロックを形成について、薬剤コストを考慮しての検討を行う。

③磁気分離装置の開発

市場調査を踏まえ、実現可能なシリカ除去のための磁気分離システムを構築する。スケールアップに伴う様々な解決すべき課題を整理し、当該装置を出力50kW程度の温泉バイナリー設備用磁気分離装置として採算が取れる価格や実現可能性を検討の上、出力50kW程度の温泉バイナリー設備用磁気分離システムの概念設計を行う。

表Ⅱ(4.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
① スケール成分の調査	温泉のシリカスケール発生の予測方法の指針作成	発電に導入される温泉水のシリカ濃度範囲が予測できれば、薬剤添加量の試算に役立つ。
② スケール除去のための前処理工程の開発	安価かつ強度の高い含水率が低い磁性フロックの調製方法の確立	処理速度を上げると流速が高くなるためフロックが崩れやすくなるため
③ 磁気分離装置の開発	出力50kW程度の温泉バイナリー設備用磁気分離システムの概念設計	処理量を大きくすることによる実用化レベルでの熱量の確保のため

(4.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成25年8月1日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を図(4.1) - 3に示す。平成25年度後期から平成26年度にかけてシリカ成分の分離のための前処理と磁気分離装置の適用方法の検討と設計を行い、実験装置の製作し試験を実施し、平成27年度には実用化ベースの処理装置の制作と評価を実施予定である。

事業項目	25年度				26年度				27年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
市場調査			文献調査・ヒアリング						ビジネスプランの作成			
①スケール成分の調査		文献調査			成分分析				温度経時変化の調査			
②スケール除去のための前処理工程の開発		ジャーテスト			薬剤コスト削減の検討						課題抽出	
③磁気分離装置の開発		概念設計			磁場発生器・磁気フィルタ選定						試験装置2作製	
		基礎試験装置作製			試験装置1作製						試験	
											試験・システム評価	
											実用機設計	

図Ⅱ(4.1) - 3 研究開発のスケジュール

(4.2)地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発

(4.2.1)背景と目的

2010年6月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、その中で、地熱発電は2030年までに設備容量165万kW(2007年度実績 53万kW)、発電電力量103億kWh(2007年度実績 30億kWh)の導入拡大が掲げられている。2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。

しかしながら、一般的な地熱発電システムでは、貯留層より汲み出した地熱蒸気をタービンにて仕事をさせ、電気出力を得る。地熱蒸気は日本国内においては概ね0.5MPa前後の飽和蒸気であるため、地熱発電システムでは、火力発電所のように高い熱効率は望めず、汽力発電所のタービン効率が約46%であるのに対し、地熱発電所の熱効率は17%程度*と効率の低いシステムとなっている。また、地熱発電システムのタービンは飽和蒸気タービンであることから、タービン入口のノズル部において、特にシリカスケールの析出が、タービン後段においては湿り度が増加し、水滴が発生することによるエロージョンが大きな問題となる。近年では、地熱井の探査技術や掘削技術などが発達したため、比較的深部にある地熱資源が開発されるようになり、地熱蒸気圧力が2MPa程度まで増加する傾向にある。タービン入口の蒸気圧力が上昇すると、タービン最終段における湿り度は益々増加し、前述のエロージョンは益々厳しいものとなるため、ドレンポケットやエロージョンシールドなどの対策を強化する必要がある。

そこで、本事業では、外部熱源を利用してタービンに流入する地熱飽和蒸気を過熱することにより、20%を超える熱効率が期待できるハイブリッド熱源高効率発電システムを開発することを目的とする。

* 蒸気井より0.5MPa飽和蒸気のみが生産されるものとし、タービン断熱効率は80%、真空度は700mmHg(冬期)と仮定した場合における熱効率。ここで、熱効率は以下の式で定義した。

$$\text{熱効率(発電効率)} = \text{発電端出力} / \text{地熱蒸気の総熱量}$$

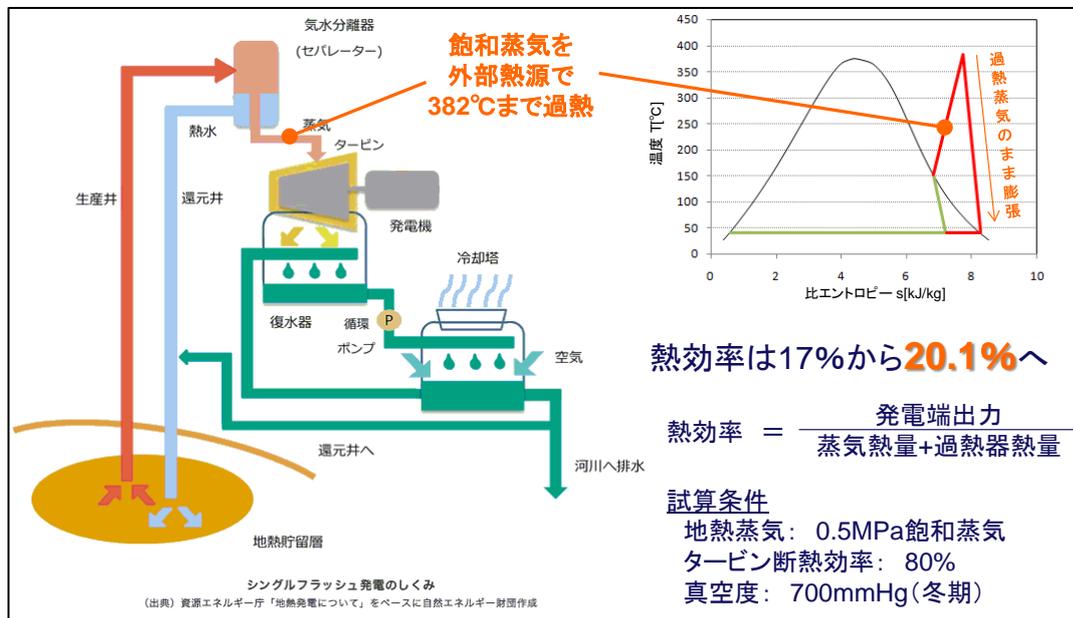


図 II (4.2)-1 地熱蒸気過熱による高効率発電システム

(4.2.2)研究開発の概要

①ハイブリッド熱源発電システムの成立性評価

本事業で技術開発するハイブリッド熱源高効率発電システムは、地熱エネルギーと、バイオマスを始めとする他の未利用エネルギーとを効果的に組み合わせることによって、従来の地熱発電システム以上の高効率化を期待するものである。具体的には、バイオマス燃焼熱などを外部熱源

として利用し、タービンに流入する地熱飽和蒸気を過熱することによって、熱効率20%超を狙う。本システムでは、タービンを通過する蒸気が過熱蒸気となることから、従来システムで問題となっているタービンにおけるエロージョンの抑制が期待できるとともに、バイオマス利用の場合、バイオマス発電設備と、地熱発電設備とを別々に建設した場合に比べ、タービン、復水器、冷却塔などの設備を共用できることから経済性に優れる、などの利点を有する。

外部熱源によりタービン流入前の地熱蒸気を過熱する

蒸気過熱によるメリット

- ① 蒸気条件が向上することにより、**熱効率が向上**
- ② タービン内部で蒸気が湿ることがないため、タービン最終段において**エロージョンが発生しない**(水滴による機械的損傷)



蒸気過熱の着想は30年以上前に特許登録^{※1}されたが、実現されなかった
今だからこそ実現可能な**「革新的技術」**

※1 JPA-1977106044 「ガスタービン・地熱タービン組合せ発電プラントの運転方法及び装置」

加えて…

地熱蒸気とバイオマスなどの自然エネルギーとを効果的に組み合わせた
「ハイブリッド熱源高効率発電システム」を提案

図Ⅱ(4.2)-2 ハイブリッド熱源発電システムとは

上述のように、地熱発電システムにおいて、蒸気井後流の湿分分離器とタービンとの間に外部熱源を利用する熱交換器を設置し、タービン流入前の飽和蒸気を過熱すると、タービンにおける熱落差が増加し、システムの熱効率が向上すると考えられる。このようなシステムについて、効率、出力、運用性などの面からシステム構成を検討し、電中研開発のソフトウェア「発電システム熱効率解析汎用プログラム(以下EnergyWin)」を用いてシステム全体のヒートバランスを解析するとともに、それぞれのシステムの熱効率を試算する。また、外部熱源として具体的にバイオマスなど(その他、太陽熱、燃料電池排熱などを想定)を利用した場合における、提案システムの熱効率、或いは発電効率を試算するとともに、システムの効率、運用性、外部熱源を地熱発電所内に設置するに際しての法制度などの観点から、それぞれのシステムの特徴および課題を整理する。

②ハイブリッド熱源発電システムの実運転条件の検討

事業内容①において有望とされた外部熱源について、外部熱源と地熱発電システムとのインテグレーションを検討し、構築したシステムの実運用時の性能を把握するとともに、システムの経済性を評価する。また、商用機を想定した場合におけるシステムの運転条件を検討するとともに、EnergyWinを用いて同条件におけるシステム全体のヒートバランスを解析し、それぞれのシステムの熱効率、或いは発電効率を試算する。

③スケールセンサの開発

本事業では、通常の地熱発電システムを構成する要素機器に加えて、地熱蒸気を過熱するための熱交換器(以下、地熱蒸気過熱器とする)の開発が新たに必要となる。この地熱発電システムの実用化を阻害する主要な要素としてスケール・腐食の問題がある。同熱交換器の入口では、スケール成分が溶解している残存液滴により、タービンノズルと同様にスケールが析出する可能性が否めず、熱交換器内においては、作動流体が従来型地熱発電システム以上に高温となるため、よりスケールが発生し易く、腐食環境もより厳しいものとなる恐れがある。

そこで、主要なスケール成分であるシリカの付着状況(付着場所や付着速度)をリアルタイムで観測できれば、その対策方法を事前に検討できるばかりでなく、地熱蒸気過熱器の構造設計にも反映することが可能である。本研究では、これまで開発を行ってきた光ファイバセンサを応用して、多点的に遠隔モニタリングすることが可能なスケールセンサを新規開発する。そのセンサの室内評価試験を得て、地熱蒸気過熱器を模擬した試験設備を製作し、実フィールドにて地熱蒸気を用いた暴露試験を実施する。スケール析出および腐食に関する現象を把握し、スケールの化学的な解析、水質分析の結果を基に、その対策技術を考案する。スケールについては、主としてシリカを想定しているが、硫化物や炭酸カルシウムについても沈殿する可能性が否定できないことから、これらのスケールも視野に研究を進める。

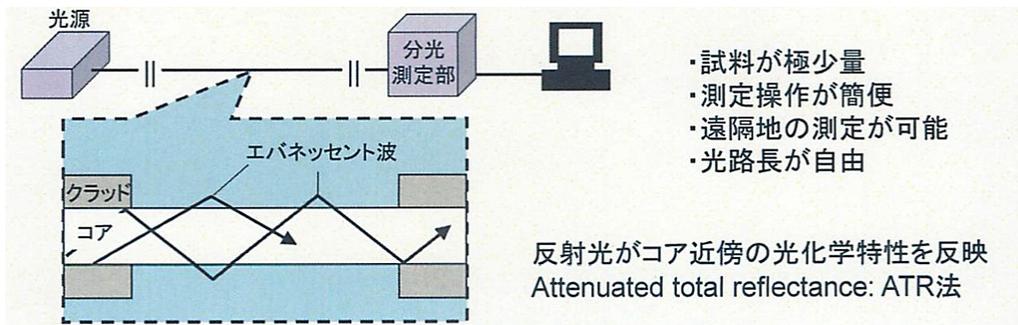


図 II (4.2)-3 開発予定のスケールセンサ概念図

④ハイブリッド熱源高効率発電システムの小規模実証試験(平成 28 年度以降の予定)

蒸気過熱器および100kW級タービン初段までを再現した、ハイブリッド熱源発電システムの実証試験設備を製作し、実フィールドにて長期暴露試験を実施し、システムの長期信頼性を検証する。

表Ⅱ(4.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①ハイブリッド熱源発電システムの成立性評価	地熱エネルギーと、バイオマスを始めとする他の未利用エネルギーとを組み合わせたハイブリッド熱源高効率発電システムを提案し、その成立性を評価する	<ul style="list-style-type: none"> ・地熱発電システムとしての熱効率が20%以上であること ・外部熱源による発電設備と地熱による発電設備を個々に用いた場合に比べ経済性に優れ、個々の発電能力の合算値よりも高効率であること ・発電原価がFIT価格を下回るなど、事業性が成立する可能性があること
②ハイブリッド熱源発電システムの実運転条件の検討	商用機を想定した場合におけるシステムの運転条件を検討するとともに、システムの経済性を評価する	
③スケールセンサの開発	リアルタイムにスケールの付着状況を遠隔モニタリングすることが可能な新規センシング技術を開発する	<ul style="list-style-type: none"> ・シリカおよび炭酸カルシウムスケールを対象とすること ・ハイブリッド熱源発電システムの蒸気過熱器の構造設計に反映し、スケール付着防止策を提案すること
④ハイブリッド熱源高効率発電システムの小規模実証試験	ハイブリッド熱源発電システムの長期信頼性を検証する	<ul style="list-style-type: none"> ・スケール付着防止策等を講じることで、“事業性を考慮した期間”連続運転が可能であること

(4.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成23年10月1日より平成30年 3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.2)-3に示す。地熱発電技術推進委員会は延べ9回実施予定である。

事業項目	25年度				26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)						
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q			
①ハイブリッド熱源発電システムの成立性評価			経済性評価						経済性評価(詳細調査)														
			システム構成の検討						実現可能性評価														
②ハイブリッド熱源発電システムの実運転条件の検討		システムインテグレーションの検討								実運転条件の検討													
③スケールセンサーの開発			室内試験						現場試験														
		現場試験装置設計・製作								現場試験													
④ハイブリッド熱源高効率発電システムの小規模実証試験														設計(予定)									
															製作・据付(予定)								
																試験(予定)							

図Ⅱ(4.2)-3 研究開発のスケジュール

(4.3)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発

(4.3.1)背景と目的

地熱利用の課題として、地熱水中成分の析出による配管や熱交換器へのスケール付着が挙げられる。特に、温泉水など低温域の地熱水を用いたバイナリーサイクル発電(温泉発電等)では、スケールによる配管閉塞や熱交換効率の低下が著しく、発電効率を低下させる主要因の一つとなっている。更に、条件によってはスケール除去に多大な費用を要し、発電システムの採算性を悪化させている。

そこで、本事業では電解水による空調機のスケール除去技術と実績を基に、当該技術を応用した低温域の地熱水もしくは蒸気に対応した電気分解(電解)スケール除去装置を開発する。

本装置の開発により、薬品を一切使用せず安価にスケール除去が可能となり、低温域の地熱発電の導入拡大へ資することを目的とする。

(4.3.2)研究開発の概要

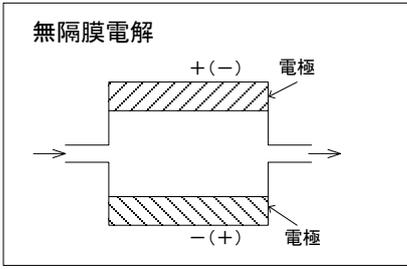
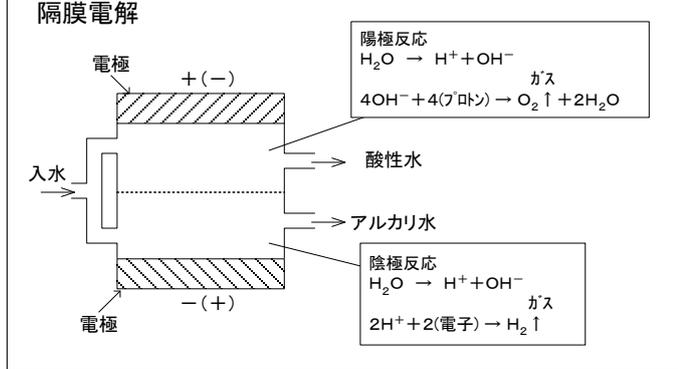
本事業では、泉質およびスケール成分が異なる複数個所において実証試験を実施し、スケール除去効果の確認を行う。また、地熱水の電解条件最適化など装置仕様について、伝熱理論及び物質移動理論を基にラボ実験と解析の両側面から基礎検討を行う。基礎検討結果と実証試験結果を相互に反映し改善することで、装置仕様を確立する。

電気分解を用いたスケール除去装置は、すでに工業用水等の冷却水系循環水への実績はあるが、地熱水への適用にあたっては表Ⅱ(4.3)-1の相違があり、これに対応した地熱発電用の電解スケール除去装置を開発する。また、電気分解には表Ⅱ(4.3)-2に示す2方式が有り、隔膜が無い方式(無隔膜式)と隔膜を用いた方式(有隔膜式)を平行して検討し、スケール除去性能と採算性を評価する。評価結果から平成28年度以降に開発予定の実スケール実証機の仕様を決定する。

表Ⅱ(4.3)-1 スケール除去装置の比較

項目	工業用水用スケール除去装置 (従来式)	地熱水用スケール除去装置
①水の流れ	冷却水を 循環で使用	ワンパス(循環しない)
②水質	不純物(ミネラル等)少	不純物(ミネラル、硫黄分等)多
③水温	5℃～50℃	90℃～150℃
④水圧	0.1MPa以下	0.48MPa以下(150℃飽和水蒸気圧)
⑤腐食性	腐食対策不要	腐食対策必要 (水中塩分、硫黄分等)

表Ⅱ(4.3)-2 電気分解装置の方式

項目	無隔膜式電解装置	有隔膜式電解装置
利点	隔膜が無い場合、製造コストが安価、メンテナンス性良	電解槽内部を陽極槽/陰極槽に分離できるため、電気分解水質を分離することが可能 (例：陽極槽⇒酸性溶液、陰極槽⇒アルカリ性溶液)
方式	 <p>無隔膜電解</p>	 <p>隔膜電解</p> <p>陽極反応 $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ (ガス) $4OH^- + 4(プロトン) \rightarrow O_2 \uparrow + 2H_2O$</p> <p>酸性水</p> <p>アルカリ水</p> <p>陰極反応 $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ (ガス) $2H^+ + 2(電子) \rightarrow H_2 \uparrow$</p>

本事業での研究内容は以下の通りである。

① 基本条件の調査研究開発

地熱水の電気分解によるスケール除去に必要な情報を明確にしたうえで、全国の地熱発電が可能な地域とその規模(湧出量)、水温、水質などの情報収集を行う。必要に応じて水質分析を行い、スケール付着程度、除去方法等について資料及び聞き取り等で情報収集を行う。また、地域により、泉質(スケール成分)、スケール付着の特色、地熱水の湧出(自噴泉か機械揚湯式か)の傾向等について調査する。

② 適正な電解条件の検討

電解電流と地熱水のスケール除去との関係をモデリングにより理論的に解明する。

理論モデル検討と並行して基礎実験および小型電解装置による流動実験を行い、数値モデルの妥当性評価を行う。また、スケール生成のメカニズムを電解前後のスケール成分分析や、電子顕微鏡での表面観察などにより検討すると共にスケール析出の温度依存性、泉質によるスケール生成の違い等も明らかにする。

この検討により、地下水基本条件(水温、水質、水量等)毎に最適な電解条件を明確化する。

③ 温泉水の水質(高ミネラル、高温、高圧)に対応した無隔膜電解装置の開発

無隔膜電解方式を用いたスケール除去装置を開発する。図Ⅱ(4.3)-1 にシステム構成例を示す。本システムは、電解スケール除去装置に取り込んだ地熱水の一部を電解処理し、バイナリー発電機側で合流させる方式である。電解槽スケール除去能力は電解処理の強さに関連するため、上記②の基礎検討結果を基に、取り込み水量と電流値を最適化する。同時に電解装置の耐熱、耐圧仕様を明確化する。また、装置内の電解槽に温泉水を引き込む方式以外に、温泉熱交換器自体に電解機能を内蔵したシステム(図Ⅱ(4.3)-2)等の実現性検討を行う。

装置の開発にあたり、下記の検討を重点的に実施する。

- ・地熱水はミネラル濃度が高く、電気分解により腐食性物質を生成するため、電極形状、電極配置や電解槽形状により、耐食性を向上させる。
 - ・バイナリー発電に適する地熱水温約 90~150℃、耐圧 0.5MPa 程度を目安に採算性も考慮した機器構造を検討する。また、実証試験を基に耐熱、耐圧仕様の見直しを行う。
- 実証実験を行うにあたっては、従来の電解基準仕様である取込み流量 10ℓ/min から開始し、取込流量と対象水量との最適条件を明確にする。対象地熱水量の目標 300ℓ/min で泉質の異なる 3 箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を 6 ヶ月で約 30%削減すると共に、

スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を6ヶ月で約30%削減する酸化物除去システムを確立する。

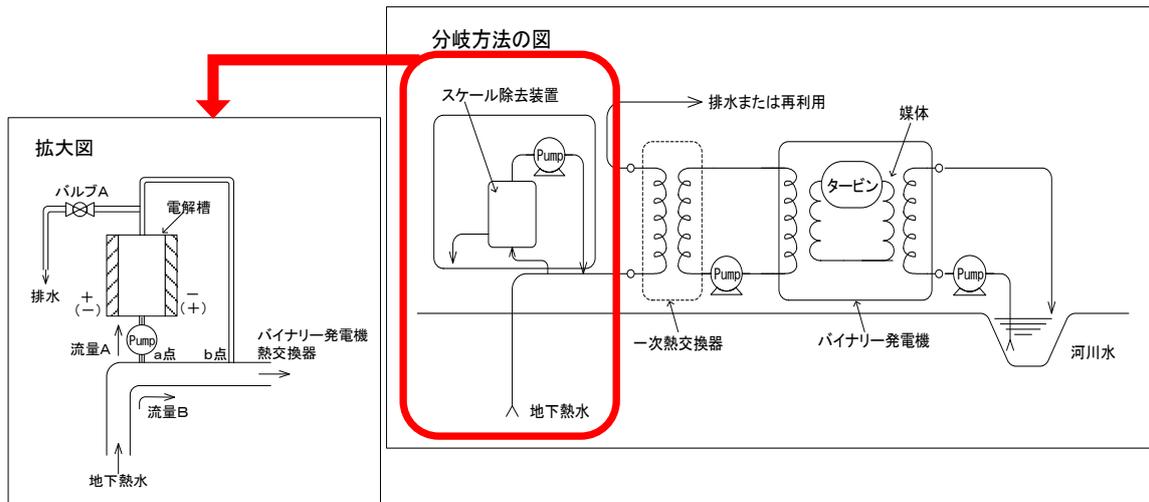


図 II (4.3)-1 無隔膜式電解装置システム構成(例)

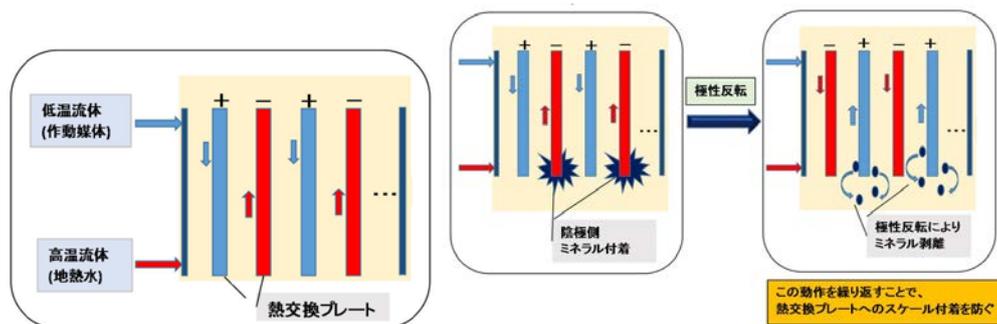


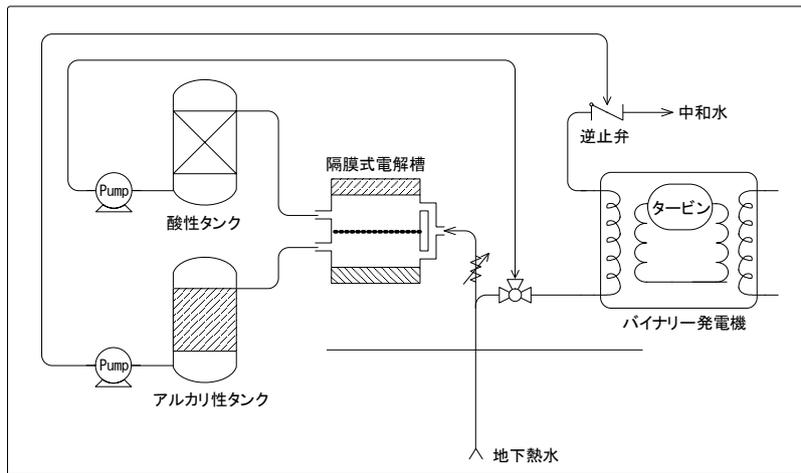
図 II (4.3)-2 電極内蔵型温泉熱交換器(例)

④ 無隔膜電解による生成物質の分析と腐食性物質の除去方法の開発

地熱水中の硫黄成分や塩素などから電気分解処理(特に陽極反応)で生成する酸化性物質の除去方法を検討する。小型試験用無隔膜電解スケール除去装置を用いた実験および温泉水とスケール成分の分析により、温泉水の電解で生成する腐食物質のデータ収集と予測を行う。

⑤ 有隔膜電解による洗浄装置の開発

有隔膜電解方式を採用したスケール除去装置の開発を行う。有隔膜方式では直流電解を行った場合、電解槽内部の陽極槽と陰極槽で起こる電気化学反応を、隔膜により分離する事が可能である。また、スケール成分の炭酸カルシウムは、酸性で溶解度が上がるため、陽極槽で生成する酸性溶液によりスケール除去効果が高まる。ただし、酸性のままであると環境への影響や周辺部品の腐食等が発生するので、陰極槽で生成したアルカリ溶液で混合中和する方法を検討する。図 II (4.3)-3 にシステム構成例を示す。この方式では、洗浄のためにバイナリー発電機を停止する必要があり、洗浄時間の最小化についても検討する。



図Ⅱ(4.3)-3 有隔膜方式電解装置構成(例)

実証実験を行うにあたっては、従来の電解基準仕様である取込み流量 100ℓ/min から開始し、取込流量と対象水量との最適条件を明確にする。対象地熱水量の 300ℓ/min で泉質の異なる 3 箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を 6 ヶ月間で約 30%削減する(電解水洗浄 1h/日)とともに、スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を 6 ヶ月で約 30%削減し、周辺機器への腐食がないことを検証する。

⑥ 上記の実証実験をもとに、スケール除去効果、採算性、メンテナンス性等を評価し、各方式の適用範囲を明らかにする。この評価により、平成 28 年度以降の実証試験方式を決定する。

表Ⅱ(4.3)-3 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①基本条件の調査研究開発	日本全国の地熱発電が可能な地域の水温、水質、水量等基本条件を調査する。	日本全国を対象とすることで、本開発装置がターゲットとするスケール成分および泉質の絞り込みが可能となる。
②適正な電解条件の検討	水質の違いに対応した電解条件の明確化及び、スケール析出/溶解の温度依存性、電気分解と地熱水スケール除去との関係を明確化する。	実用化の観点から装置の適用範囲を広くすべく、水質の違いに対応した電解条件の解明を行う必要がある。
③温泉水の水質(高ミネラル、高温、高圧)に対応した無隔膜電解装置の開発	対象地熱水量の目標 300ℓ/min で泉質の異なる 3 箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を 6 ヶ月で約 30%削減すると共に、スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を 6 ヶ月で約 30%削減する酸化物質除去システムを確立する。	小型バイナリーを想定して対象地熱水量を設定する。そのうえで、実用化の観点から装置の適用範囲を明確化する。
④無隔膜電解による生成物質の分析と腐食性物質の除去方法の開発		
⑤有隔膜電解による洗浄装置の開発	対象地熱水量の目標300ℓ/minで泉質の異なる3箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を6ヶ月間で約30%削減する(電解水洗浄1h/日)とともに、スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を6ヶ月で約30%削減し、周辺機器への腐食がないことを検証する。	小型バイナリーを想定して対象地熱水量を設定する。そのうえで、実用化の観点から装置の適用範囲を明確化する。

(4.3.3)事業スケジュール

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)					
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
①基本条件の調査研究 開発			熱源の基本事項について調査 (文献調査・ヒアリング)								継続調査							
②適正な電解条件の検討		スケール主成分の特性調査・ラボ実験系準備				実験系による最適電解条件の検討				実証試験との整合性評価								
③無隔膜電解装置の開発		試作検証機①の設計/製作				実証試験												
			試作検証機②の設計/製作			実証試験・採算性評価												
④無隔膜電解による生成 物質の分析と腐食性 物質の除去方法の開発			物質の特定および分析			除去方法の検討・試作検証				実証試験評価								
⑤有隔膜電解による洗浄 装置の開発		試作検証機①の設計/製作				ラボ試験												
			試作検証機②の設計/製作			実証試験・採算性評価												
⑥バイナリ発電機の熱交 換器を対象とした実証 試験及びデータ解析										実証試験およびデータ解析								

図Ⅱ(4.3)-4 研究開発のスケジュール

(4.4)地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)

(4.4.1)背景と目的

地熱資源は、地下に賦存する熱水・水蒸気(地熱流体)をリソースとすることから、その地熱流体に含まれる様々な化学物質の性状が、地熱発電所の操業に大きな影響を及ぼす。地熱流体の性状は多様であり、単一の対策で全ての地熱発電所の問題を解決することはできないため、適正な手法を選択するための評価が必要となる。一方、対策によって加えた薬液や材料により二次的な問題(例えば、二次生成物による新たなスケールの発生や適化した化学物質による新たな腐食の発生等)が生じることもあり、対策技術の効果予測も含めたリスク評価が不可欠である。過去に行われた国内の地熱事業者へのアンケート調査によると、各設備の損傷事故のうち、地熱井・流送配管・発電設備の損傷事故が 48.1%とほぼ半分を占める。また、損傷への対応は、交換が 41.2%、材料の高級化が 15.9%、補修が 7.3%、その他が 35.5%となっており、交換や材料の高級化等のコスト負担の過大な対応が必要になるため、このようなトラブルの発生は、地熱発電所の操業費の高騰による事業採算性の悪化につながる。また、損傷形態としては、全面腐食が 28.0%、エロージョンが 25.4%、スケール付着が 23.7%と各々全体の 1/4 を占めている。

そこで本事業では、発電所の設計段階でこれらのリスクを予測して、適切な対応を行うことができ、操業時のリスクを低減することが可能となるリスク評価システムを開発することを目的とする。

(4.4.2)研究開発の概要

本事業では、地熱発電プラント(温泉発電を含む)の操業において、地熱流体に含まれる化学物質に起因する腐食・スケール付着による損傷事故のリスクを低減するための予測計算技術とデータベースによる事例検索に基づき、損傷事故の予測を行い、適正な対策手法を提示するリスク評価システム技術を確立することで、地熱発電の操業リスクを低減するための技術を確立する。本技術開発の第 1 フェーズ(平成 26 年度～平成 27 年度)では、地熱発電所におけるリスク予測技術の要素開発を行い、リスク評価システムの全体システムを設計する。また、参考ではあるが、平成 27 年度末の中間評価を経て、第 2 フェーズ(平成 28 年度～平成 29 年度)に進んだ場合には、平成 27 年度までの成果に基づき、全体システムの統合、システムの改良、フィールドにおける実証試験を行い、技術の実用化を図る。

①リスク評価システム開発(全体システム開発)(担当：地熱技術開発株式会社)

地熱発電プラントのリスク評価システムとして、予測技術・データベース・リスク評価システム・モニタリングシステムの各基本モジュールを統合して、地熱発電プラントの形状・地熱流体の性状等を入力することで、その地熱発電プラントの個々の箇所でも予測される障害、障害の克服に必要な材料や対策技術選定、発電所操業時に必要となるモニタリング技術を提示し、それに掛かる費用概算が可能なリスク評価システムの全体設計を行う。

②腐食・侵食・スケール付着予測技術(担当：地熱技術開発株式会社)

本項目では、地熱流体の性状によって、地熱発電プラントの坑井設備・地上設備で発生する腐食・侵食・スケール付着を予測するための二相流動・地化学モデル連成シミュレーションを用いた腐食やスケール付着の予測計算技術の開発を行う。並列計算による OpenFOAM®をベースとして、化学平衡反応シミュレータを組み込み、連成で解くことで、地熱流体の性状によって、地熱発電プラントの坑井設備・地上設備で発生する腐食・侵食・スケール付着を予測するための二相流動・地化学モデル連成シミュレーションを用いた腐食やスケール付着の予測計算技術の基本モジュールの開発を行う。

③材料腐食およびスケールデータベースの整備(担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

地熱材料腐食に関しては、産総研東北センター(旧東北工業技術研究所)で 2002 年までにまとめられたデータベースに新規データを加えた再整備を行う。また、文献調査や企業への聞き取り調査などにより、材料腐食データベースの構築を行う。スケールデータベースのデータ収集を進める。

④地熱材料選定の研究(担当：エヌケーケーシームレス鋼管株式会社)

サンシャイン計画の実績整理、対象を広げたアンケート調査と選択したフィールドとの問題点整理、選択したフィールドにおける短期モニター調査、必要に応じた腐食試験、得られた成果にもとづいた材料選択のための腐食データベース構築を行う。

⑤プラントリスク評価システムのためのモニタリング(担当：地熱技術開発株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)

地熱発電所の流体性状は、操業後に変化していくため、その情報をフィードバックして、リスク評価システムで再評価して、変化に合わせて対応していくことが発電所の維持において重要である。従って、適正なモニタリングは重要であることから、発電所操業中の維持・管理に必要なコンパクトで低コストのモニタリングシステムの設計・開発を行う。

受託者(地熱技術開発株式会社)は、配管等にバイパス経路として設置可能な可搬組立式のフィールド試験におけるフロー試験装置を開発する。受託者(産業技術総合研究所)は、整備された材料腐食およびスケールデータベースなどをもとに開発されたプラントリスク評価システムの検証を行うために、実際の地熱発電所あるいは調査地域において実証試験を行い、材料の腐食状況やスケール付着状況についてのモニタリング(材料の観察評価、材料の腐食やスケール付着速度の測定)を行う。

⑥地熱発電プラントリスク評価実証試験(担当：地熱技術開発株式会社)

実際の地熱発電所において、地熱井、坑口装置、流送配管、発電設備を含む地熱プラント全体で発生する腐食・侵食・スケール付着等の問題発生を予測し、データベースによってその対策法を選定して、実証試験が可能な箇所において、対策を施した場合と施さなかった場合での効果を検証する。本研究では、実証試験地点の選定を行うとともに、そこに設置する実証試験装置を製作してその動作確認を行う。既設の地熱発電所の過去のデータに基づき、基本モジュール群を用いた一連のプロセスを実行する地熱発電プラントリスク評価システムプロトタイプでの机上評価を行う。

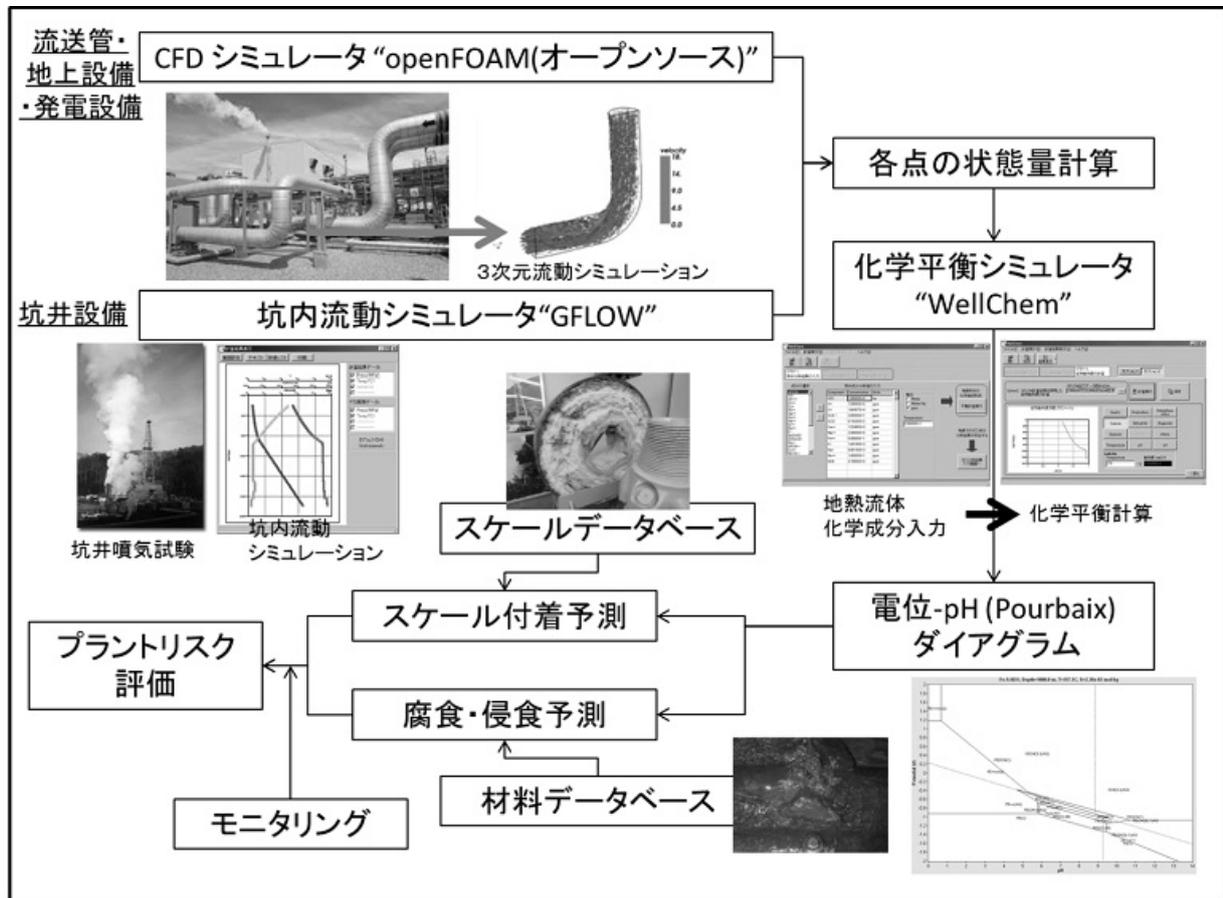


図 II (4.4)-1 地熱発電プラントリスク評価システムの全体構成

表Ⅱ(4.4)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標(H27) [2年延長の場合、システムの統合・実証試験による評価を実施する]	目標レベル設定の根拠
① リスク評価システムの開発(全体システム開発)	地熱発電プラントリスク評価システムの調査(海外の先進事例の情報を更新して、その結果を基本設計に反映する。国内事例20地点以上・海外5ヶ国以上+2ヶ国以上の最新事例調査) 地熱発電プラントリスク評価システムの基本設計(予測技術・データベース・リスク評価システム・モニタリングシステムの各基本モジュールを統合する地熱発電プラントリスク評価システムの基本設計を完了する。)	国内件数については大型の既設発電所+温泉発電を含めて事例数を設定した。海外件数については地熱開発の盛んな国を中心として設定した。
② 腐食・浸食・スケール付着予測技術の開発	腐食・スケール付着予測計算技術基本モジュールの製作(三次元流体シミュレータ・坑井流動シミュレータで計算される各計算ノードでの状態量に基づき、地化学反応シミュレーションを行い、腐食・スケールの予測を行う基本モジュールのプログラムを製作し、過去の事例による検証を行い、改良点等の課題の抽出を行う。)	2年延長になった際に長期間が必要な実証試験が実施可能なレベルの開発段階にあること。
③ 地熱腐食データベース・地熱スケールデータベースの構築	新規材料試験データの収集(国内外の学会や研究会、また地熱企業が所有する地熱材料腐食やスケールに関するデータを収集し、データベースシステムに追加する。1年目40件以上+2年目40件以上) リスク評価システムのためのデータベースシステム的设计・構築(開発するリスク評価・予測技術に有効なデータベースシステム的设计・構築を行う。)	最近の国内外の公表された論文数から推定して数量を決定した。
④ 材料選定の研究開発	現地調査(九州地区、東北地区から数箇所選択し、実態を調査する。1年目10件以上+2年目10件以上&3地点以上の現地調査) アンケート調査(かつて実施したアンケートを参考にしながらアンケートを作成し、国内・外の開発会社に依頼し最近の問題点を抽出する。)	最近の国内外の公表された論文数から推定して数量を決定した。
⑤ プラントリスク評価システムのためのモニタリング技術の開発	フロー試験装置の製作(フロー試験装置の製作を行う。) フロー試験装置の動作試験(既設の地熱発電所ないしは温泉においてフロー試験装置の動作試験を行い、システムが正常に作動することを検証する。) モニタリング手法の検討(モニタリングにおいて必要な分析・解析手法について、リスク評価システムと対応するような手法を検討する。また、必要に応じて既存の材料などの分析を行う。国内3ヶ所以上のデータを用いる。)	2年延長になった際に長期間が必要な実証試験が実施可能なレベルの開発段階にあること。
⑥ 地熱発電プラントリスク評価実証試験	実証試験地点の選定(実証試験地点を選定する。実証試験装置の試運転で正常な動作を確認)	2年延長になった際に長期間が必要な実証試験が実施可能なレベルの開発段階にあること。

(4.4.3)事業スケジュール

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
①リスク評価システムの開発			事例調査 概念設計			追加事例調査 基本設計				追加事例調査 統合システム試作					追加事例調査 統合システム検証		
②腐食・侵食・スケール 付着予測技術の開発		CFD導入検証 化学反応モジュール 開発				腐食・スケール予測モジ ュール製作・過去事例検証				腐食・スケール予測モジ ュール改良・過去事例検証					腐食・スケール予測モジ ュール完成・実証試験検証		
③材料腐食およびスケール データベースの整備		既存情報整理 新規情報追加				新規情報追加 データベースシステム 設計				新規情報追加 データベースシステム 構築					データベースシステム 改良		
④材料選定の研究		既存情報調査 新規情報追加				現地調査 アンケート調査				腐食試験 材料選定手法の検討					改良・検証		
⑤プラントリスク評価シ ステムのためのモニタリ ング技術の開発		計装機器設計 課題整理				計測機器製作と作動試 験・既存データによるモ ニタリング技術適用性検 討				実証試験・改良 モニタリングサイト と手法の検討					実証試験・検証 経済性評価 システム適合性検証		
⑥地熱発電プラントリス ク評価実証試験		実証試験装置 設計				実証試験装置製作と 作動試験				実証試験 評価データ取得					実証試験継続 手法全体の検証		

図Ⅱ(4.4)-2 研究開発のスケジュール

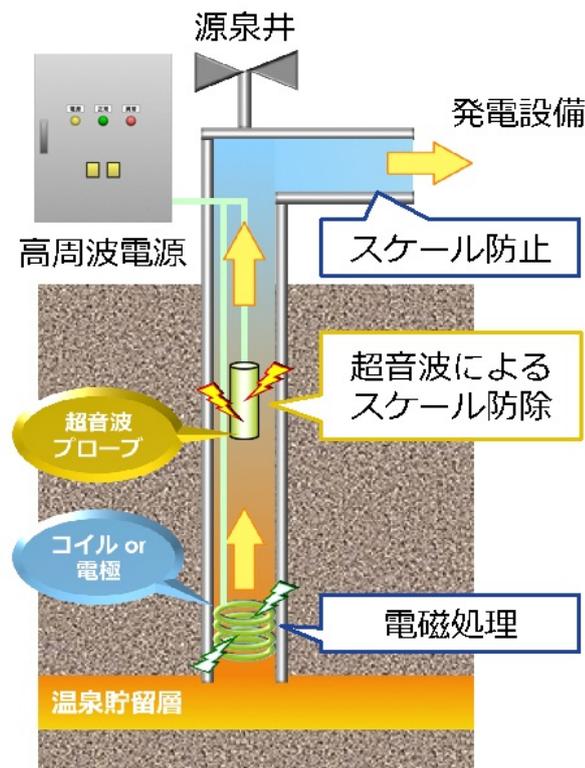
(4.5)温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発

(4.5.1)背景と目的

2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。本事業の目的は、地熱開発を促進する取り組みとして革新的なスケール対策技術開発を行い、地熱発電の導入拡大を図ることである。

一般に、源泉水中に無機塩類を多量に含む温泉水の利用においては、配管内壁や熱交換器表面等への温泉水成分に起因するスケール付着の問題が、その利用拡大の最大の障害となる。既存のバイナリー発電ユニットを利用した温泉熱利用発電においても、温泉水を一次側の熱源として利用するには、スケール付着による伝熱交換効率の低下や、閉塞による操業率低下を避けることは困難であり、例えば、発電用の蒸気を発生させる熱媒体の加熱には、浄水等を間接的に熱源として用いる等の工夫を施している。それでも浄水を加熱するための熱交換機、及びそこに到る源泉からの配管系統では、温泉水成分に起因するスケールの析出と成長による閉塞の問題が発電システムの安定運用を妨げているのが実状であり、商業的発電システム普及の最大の障害となっているのである。このことは、言い換えればスケール発生が予測される温泉を利用する場合、経済的に見合うスケール対策技術が確立されない限り商業的発電は不可能であることを示しており、既存の温泉や地下からの熱水を利用しようとする地熱開発において、有効性と経済性を満たす革新的なスケール対策技術の確立は、解決しなければならない喫緊の課題である。

そこで本事業では、非接触で、連続的、且つ低コストで運用できる革新的スケール対策技術として「超音波処理」及び「高周波電磁処理」の物理処理技術の研究開発を行い、地熱発電運用コストの大幅低減を図ることを最終目的とする。



図II(4.5)-1 超音波及び電磁処理によるスケール対策

(4.5.2)研究開発の概要

本事業では、連続的、且つ低コストで使用できる革新的スケール対策技術として「超音波処理」及び「高周波電磁処理」の物理処理技術を適用することで、装置の設置箇所の下流側(配管及び熱交換器)におけるスケール形成を抑制または防止できる革新的なスケール防止技術を開発し、地熱発電運用コストの大幅低減を目指す。

基礎的実験から、超音波処理、高周波電磁処理及びその複合挙動によるスケール防止効果を確認

認し、これらのメカニズム解明と最適条件の究明を行う。また、温泉地の現地調査から水質分析等を行ってデータベースを構築し、合わせて実証試験方法を確立する。これらの知見から、超音波及び高周波電磁場発生用の共用高周波電源、源泉坑井管内でも運用できる超音波プローブ及び電磁場コイルを製作し、超音波及び高周波電磁処理のハイブリッドスケール防止装置を開発する。また、その実証試験及び水質データベースから、同ハイブリッドスケール防止装置の運用条件を、無機塩類を多量に含む多様な温泉水に対して体系化する。

- ① 超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果の確認
- ② 超音波及び高周波電磁処理のハイブリッドスケール防止装置の開発
- ③ ハイブリッドスケール防止装置の実証試験とその運用条件の体系化

☞ スケール対策の年間運用コストを、従来の浚渫もしくは薬注による対策コストと比較し20%以上低減する。

☞ 多様な温泉水に対するデータベースを構築し、ハイブリッドスケール防止装置の運用条件を体系化する。

表Ⅱ(4.5)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標(H29年度予定)	目標レベル設定の根拠
① 超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果の確認	基礎的実験から超音波及び高周波電磁処理によるスケール付着防止効果の挙動確認を行う。実証試験と基礎的実験等を通して各データの整合を図り、同理論化を行う。	現段階で高周波電磁処理によるスケール防止効果のメカニズムについては不明の点も多く、同時に超音波処理との複合効果についても未知数である。これらの理論化は、実用化においても不可欠である。
② 超音波及び高周波電磁処理のハイブリッドスケール防止装置の開発	出力300W以上の高周波電源、150℃以上の耐熱性能を有し源泉坑井管内でも運用可能な超音波、電磁場発生プローブを開発する。これを実証試験等によりスケール防止効果を確認しながら、ハイブリッドスケール防止装置の製品仕様を確定する。	超音波処理に関する基礎的研究成果、及び高周波電磁処理の導入実績から、高周波電源の目標出力を300W以上とした。また、耐熱性能の目標値は、テフロン耐熱温度から長時間使用を考慮して150℃とした。
③ ハイブリッドスケール防止装置の実証試験とその運用条件の体系化	②のハイブリッドスケール防止装置の実証試験を行いスケール防止に係るデータを取得する。また、国内累計15箇所以上の温泉地等の現地調査を行い、また過去の電磁処理導入データ等を元に累計500件以上のデータベースを構築する。これらと①の成果を統合し、運用条件の体系化を完了する。	電磁処理におけるこれまでの導入実績から、現場の状況に合わせた適切な運用の重要性が認められている。よって、温泉水の現地調査が必要不可欠であり、年間5箇所以上の調査を実施することとした。また、過去の電磁処理導入の検査実績(一千件程度)の中から、十分な数をデータ化することを目標とした。

(4.5.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年10月1日より平成30年 3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.5)-2に示す。地熱発電技術推進委員会は延べ7回実施予定である。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①スケール防止効果確認			基礎試験によるスケール挙動確認						実証試験データとの整合性確認							
②スケール防止装置開発		基本設計			設計・製作				改善・最終仕様確立							
③実証試験と運用条件体系化		現地調査・実証試験方法検討						実証試験								
			体系化のためのデータベース構築						運用条件体系化							
④データ統合解析													データ統合解析			

図Ⅱ(4.5)-2 研究開発のスケジュール

(4.6)バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発

(4.6.1)背景と目的

再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。地熱開発の中で低温域の地熱資源を活用する温泉バイナリー発電システムは、全国各地に分布する温泉熱エネルギーを発電に利用するため地域分散型の電源として活用でき、地域経済の活性化に対する貢献が期待されている。しかしながら、実証試験が進むにつれて、配管に付着する温泉スケールが普及に向けた大きな阻害要因であることが判明してきた。本事業は、配管に付着した温泉スケールを機械的に効率良く洗浄するメカニカルデスケーリング法を開発することを目的として、秋田大学、(株)管通、東北大学、東京海洋大学による大学と民間企業の連携による研究体制のもと、温泉熱バイナリーの普及を阻んでいるスケール問題の解決に貢献することを目的とした研究開発を実施する。

(4.6.2)研究開発の概要

本事業では以下の研究開発を実施する。1年目(平成26年度)はスケール・温泉水の分析、モニタリング装置開発のための基礎データ収集、スケール除去装置の小規模な試作品開発を行い、2年目(平成27年度)に高圧ウォータージェットポンプを含む大規模な実験装置の開発、モニタリング法およびスケール除去装置を開発する。3年目(平成28年度)(予定)は現場実験を行い開発した装置の性能を検証する。最終年度(平成29年度)(予定)には、装置の改良および実用化に向けての課題抽出を行う。研究開発の概要は以下の通りである。各事業項目における研究開発目標と根拠を表Ⅱ(4.6)-1に示す。

①経済性及び実用化後の波及効果の評価

新手法の経済性及び実用化後の波及効果について、従来法および新手法における費用、清掃頻度を検討の上、将来的に発電継続が可能になることを踏まえた経済的導入可能性を評価する。

②スケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析

現場よりスケール試料を収集し、得られたスケール試料の結晶構造解析、顕微鏡観察、化学組成分析を実施する。また、スケールの引張試験等の強度試験を実施し、これらを総合してスケール構造および組成とスケール強度との関係についての研究を行いこれらの関係について検討解析する。

③スケール付着計測技術及び装置の開発ならびにスケール除去時期判断手法の開発

温泉での配管温度計測を行い、スケール付着量と熱伝達率との関係を明らかにすると共に、スケール除去作業前後のスケール付着状況を計測可能な装置を開発する。開発した計測装置について現場における性能確認試験を行う。併せて、外部から非破壊で測定したスケール付着状況からスケール除去の実施時期を判断する手法を開発する。

④スケール除去装置の開発及び評価手法の開発

経済性及び実用化後の波及効果の評価において、経済的導入可能性に見込みがあると判断された場合、スケール除去装置の要素技術開発・スケール除去実験を行うための実験装置を開発するとともに、ウォータージェットおよびピグを用いたデスケーリング装置を開発する。実験装置を用いてスケール除去実験を行うとともに数値シミュレーションを行い、スケール除去能および切削屑の排出挙動に関する実験的評価手法を開発する。

⑤研究開発委員会の開催

各研究機関は分担箇所の研究開発を行うとともに、2回/年程度の頻度で研究開発委員会を開催し、全体の研究開発が円滑に進むようにコミュニケーションを図る。委員会開催場所は、各研究機関の所在地を順次巡るほか、温泉バイナリー発電所所在地においても開催する予定である。

⑥スケール除去装置の現場性能確認実験(予定)

開発したデスケーリング装置を用いての現場性能確認実験を行い、スケール除去作業時間およ

び作業費用を明らかにする。デスケーリング装置の性能向上に関する課題抽出を行うとともに対策を施す。

表Ⅱ(4.6)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①経済性及び実用化後の波及効果の評価	従来法および新手法における費用、清掃頻度を検討の上、将来的に発電継続が可能になることを踏まえた経済的導入可能性を評価し提示する。	新手法開発によるユーザーのコストメリットを明らかにするため、従来法及び新手法による導入・運用コストの経済性を比較検討することを目標に設定した。
②スケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析	スケール及び温泉水の分析ならびにスケールの力学試験結果を基に、鉱物学・結晶学的見地からデスケーリング装置の設計指針を提案する。	デスケーリング装置開発を目的としたスケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析を行い、デスケーリング装置の設計指針を提案することに目標を設定した。
③スケール付着計測技術及び装置の開発ならびにスケール除去時期判断手法の開発	スケール付着状況とスケール除去の効果を非破壊で外部から判断可能な温度測定式モニタリング装置を開発する。	現状では、温泉水の供給が減少するとデスケーリング工事が行われている。デスケーリングの実施時期を非破壊で外部から判断するために目標を設定した。
④スケール除去装置の開発及び評価手法の開発	平成27年度までに常温で稼働可能なデスケーリング実験装置を開発する。平成29年度までに源泉を止めずに使用できるデスケーリング技術を開発する。(予定)	源泉を止めずに使用できるデスケーリング技術を開発することを目的として、平成27年度までに常温で稼働可能な装置開発を目標に設定した。また、平成29年度までに源泉を止めずに使用できるデスケーリング技術を開発することを目標に設定した。(予定)
⑤研究開発委員会の開催	2回/年程度の頻度で研究開発委員会を開催する。	全体の研究開発が円滑に進むように年2回程度の研究開発委員会開催を目標に設定した。
⑥スケール除去装置の現場性能確認実験(予定)	設備利用率の向上を加味して従来法より年間の運用コストが20%以上低減できるスケール除去法を開発する。(予定)	温泉バイナリー発電の導入拡大に資する革新的技術開発を行うことを目的として、年間運用コストを20%以上低減することを目標に設定した。(予定)

(4.6.3)事業スケジュール

本事業の契約期間は、平成 26 年 8 月 8 日より平成 28 年 3 月 20 日であり、研究期間は平成 26 年度より平成 29 年度を予定している。主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.6)-1 に示す。

事業項目	26年度				27年度				28年度(予定)				29年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①経済性及び実用化後の波及効果の評価			→													
②スケール化学組成・構造とスケール発生・成長・強度との関係の検討		収集装置設置				試料収集・分析					除去装置設計指針作成					
③スケール付着計測技術及び装置の開発ならびにスケール除去時期判断手法の開発		計測装置設計・製作							性能確認試験			精度向上				
④スケール除去装置の開発及び評価手法の開発		仕様決定			設計・製作					効果の検証・評価			装置改善・完成			
⑤スケール除去装置の現場性能確認実験									現地試験			現地試験				

図Ⅱ(4.6)-1 研究開発のスケジュール

II.2.2 研究開発の実施体制

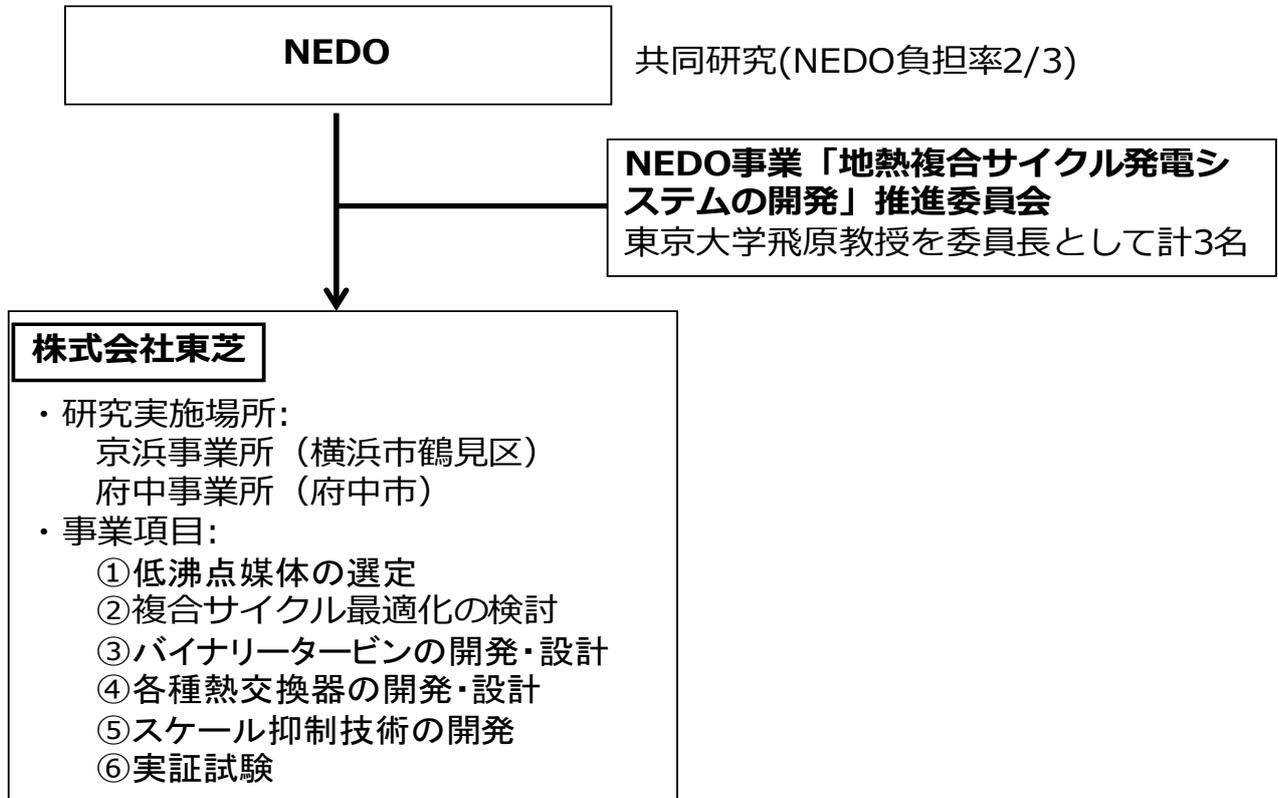
本研究開発は、NEDO が単独ないし複数の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し、委託または共同研究により実施する。

各研究開発項目における実施テーマ名と実施機関および具体的な研究項目について次ページ以降に実施体制図として纏める。

事業実施体制図

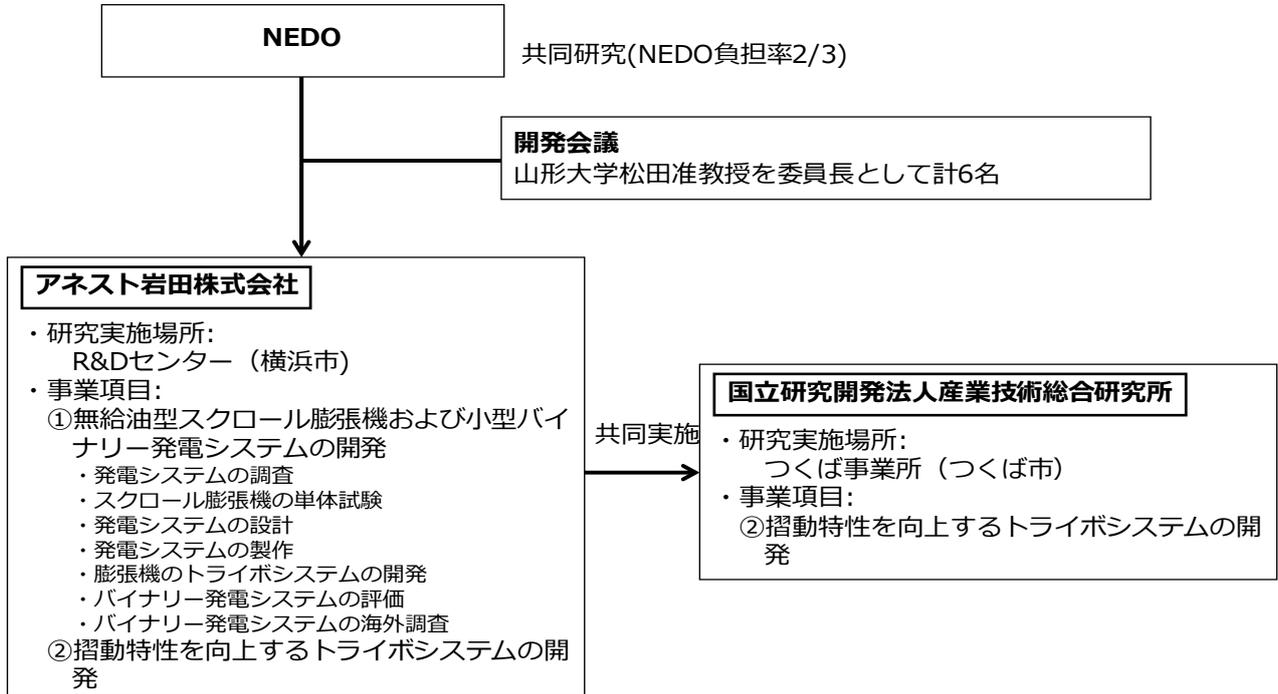
(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

(1.1)地熱複合サイクル発電システムの開発

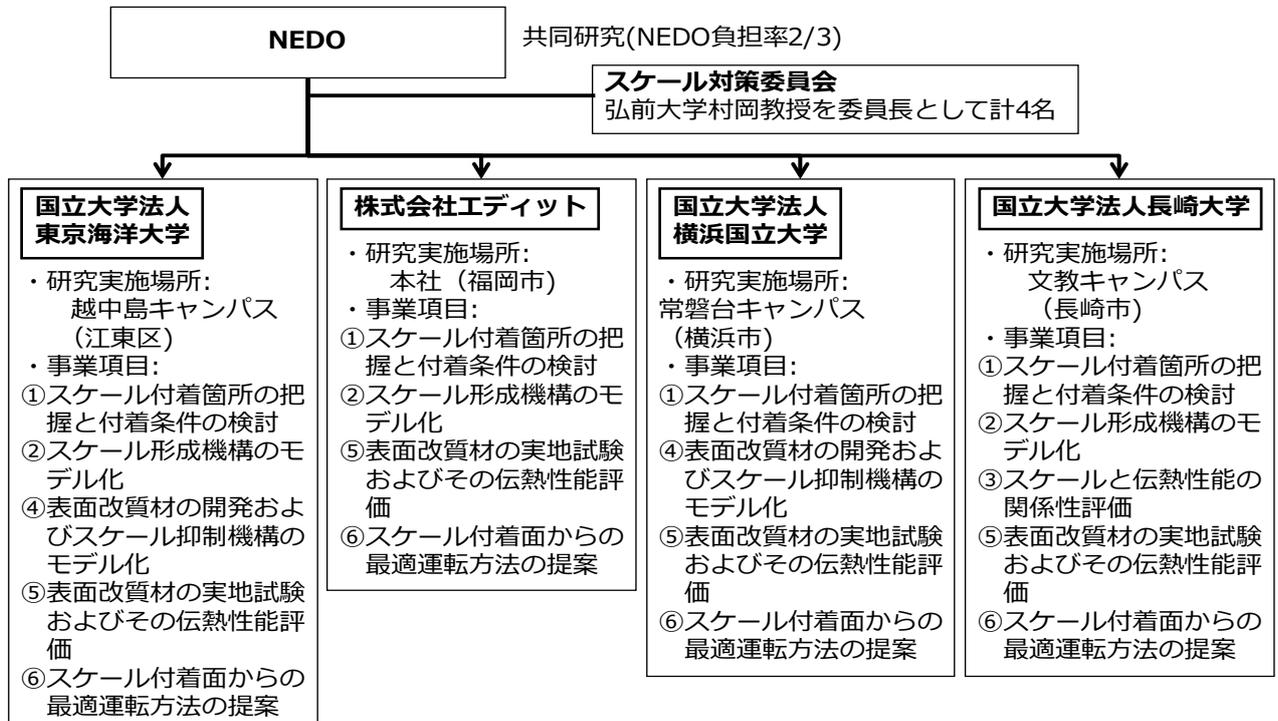


(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

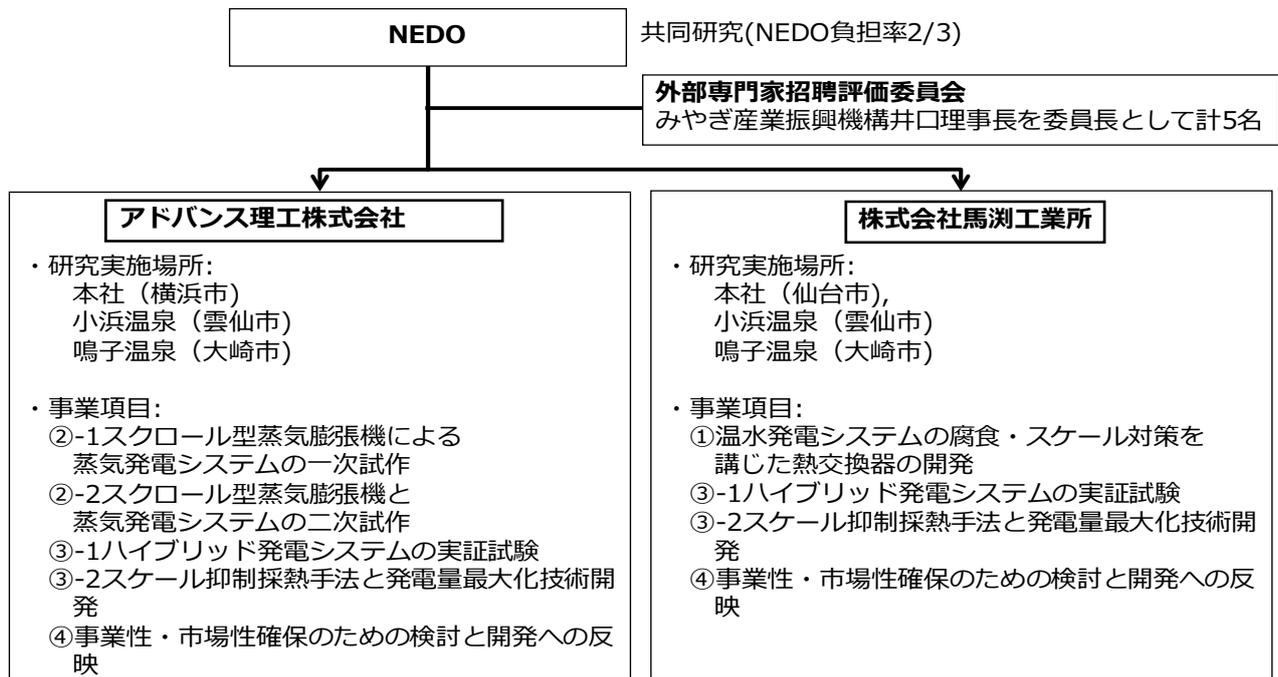
(2.1)無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化



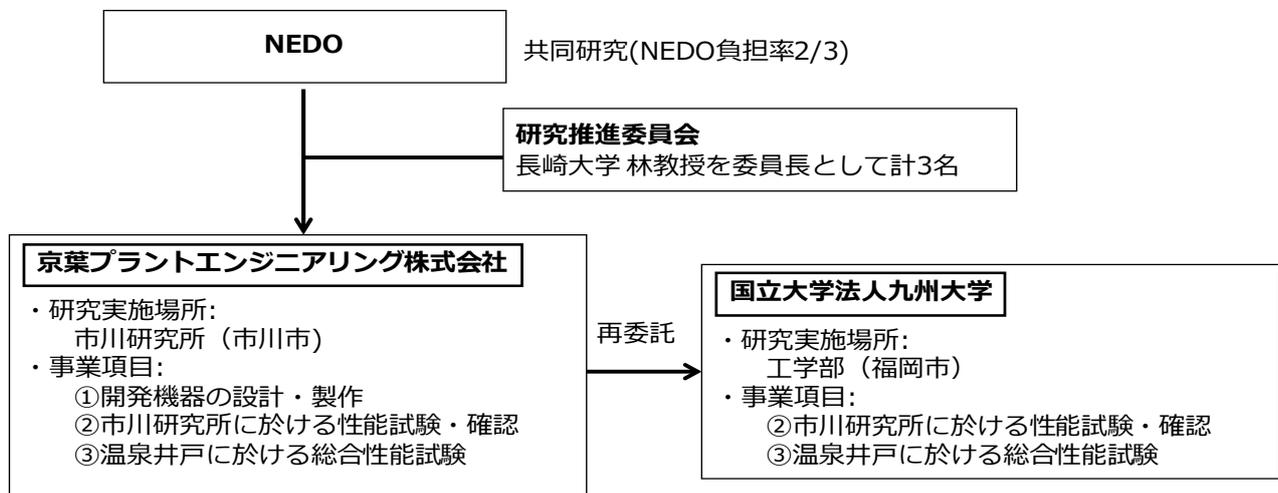
(2.2)炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発



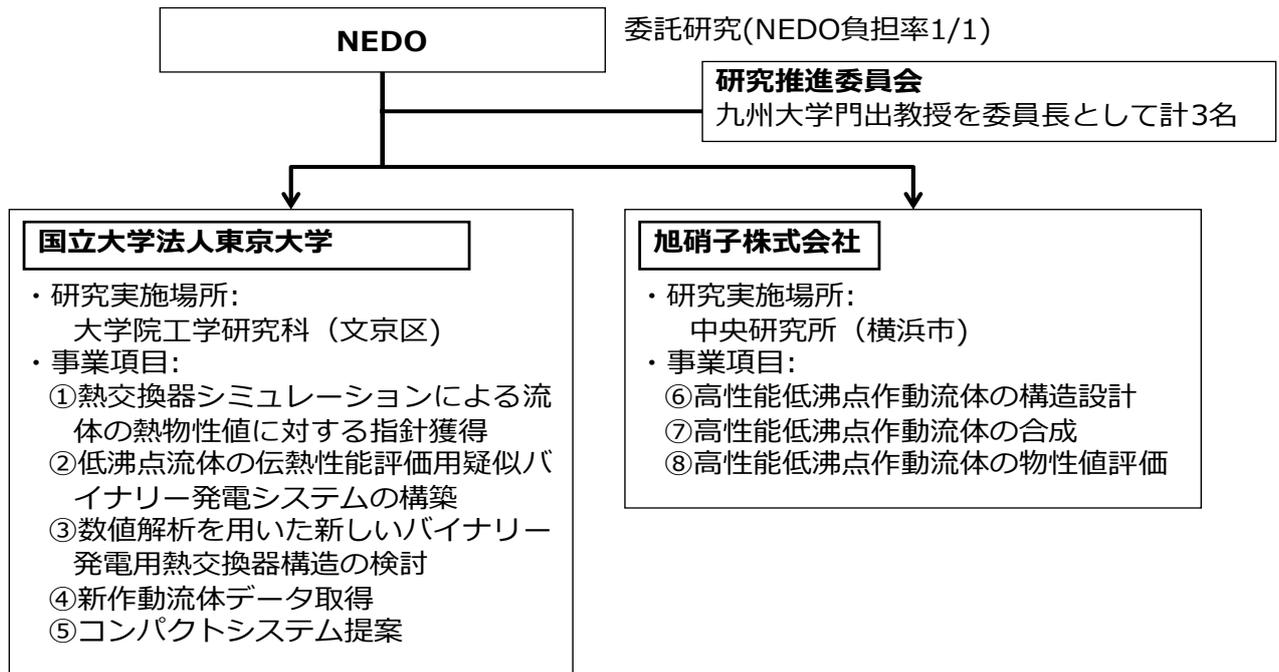
(2.3) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発



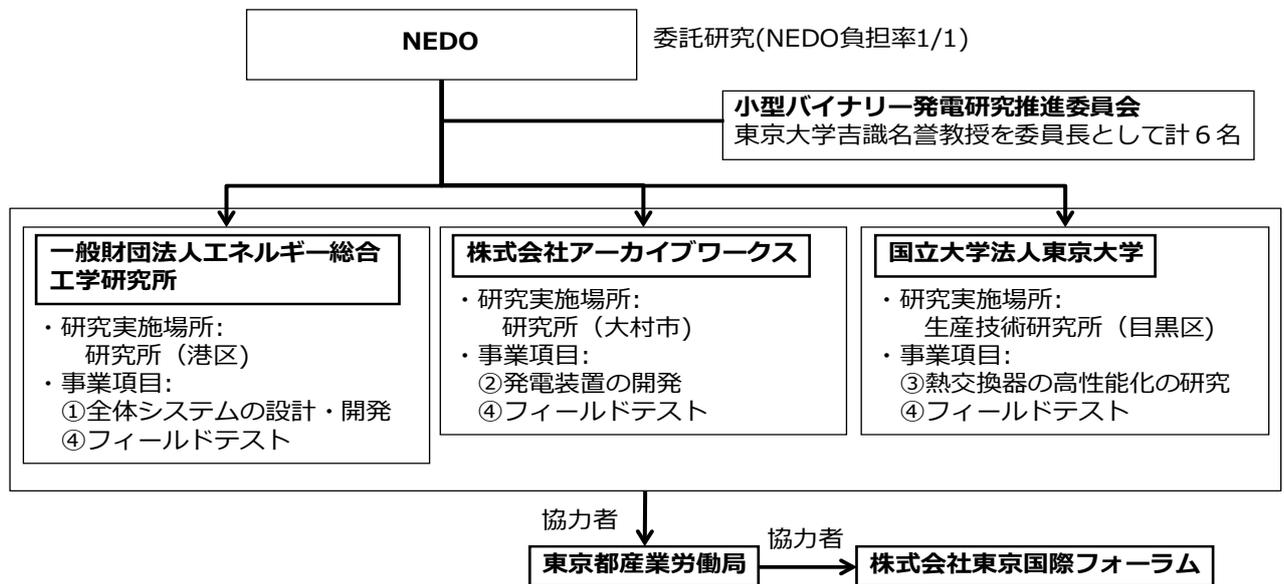
(2.4) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発



(2.5) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

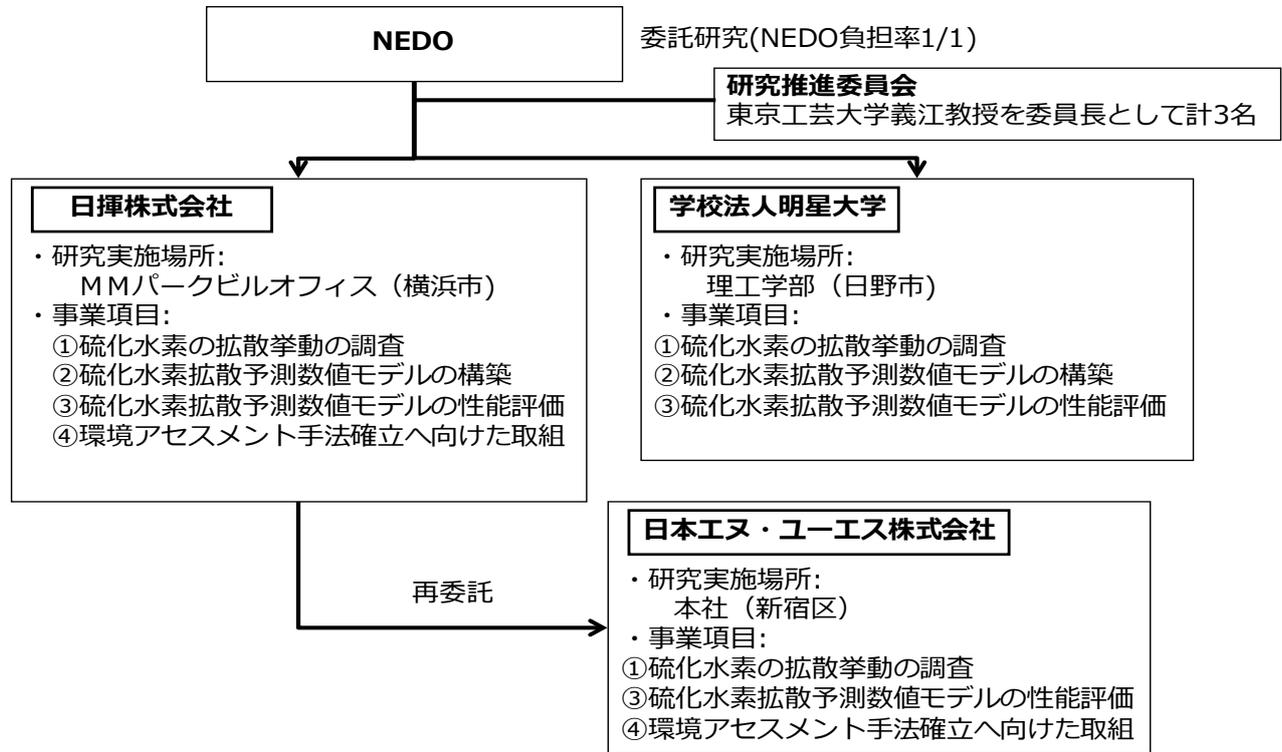


(2.6) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発



(3) 発電所の環境保全対策技術開発

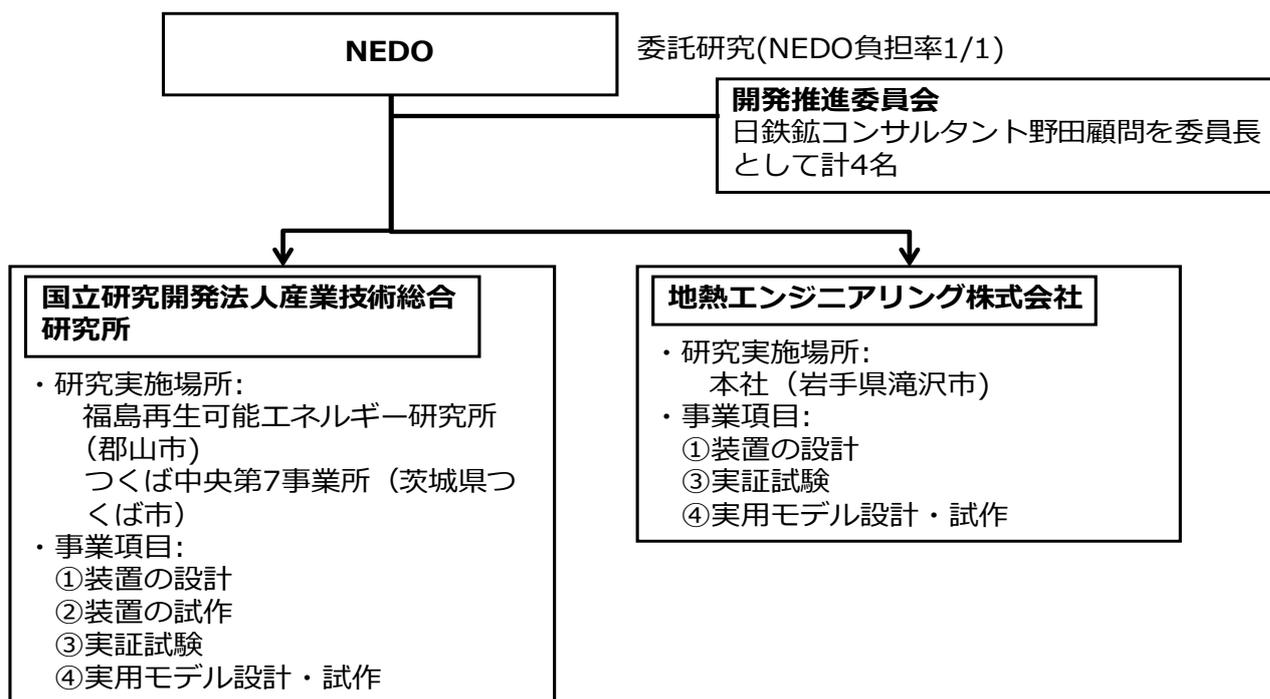
(3.1) 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発



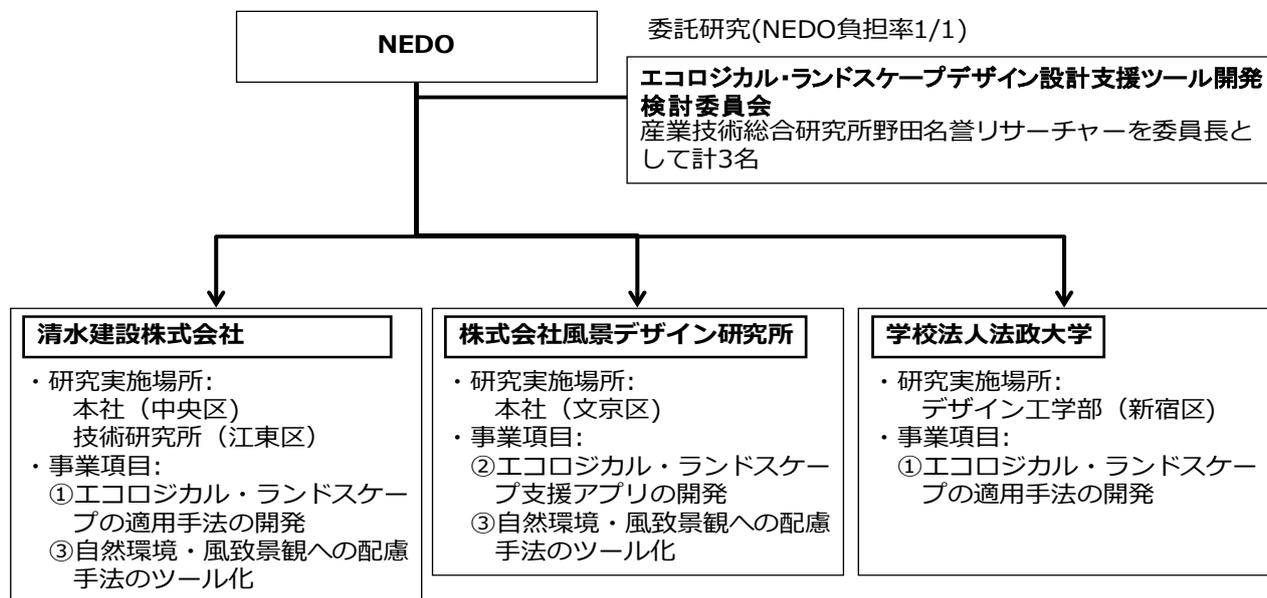
(3.2) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発



(3.3) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

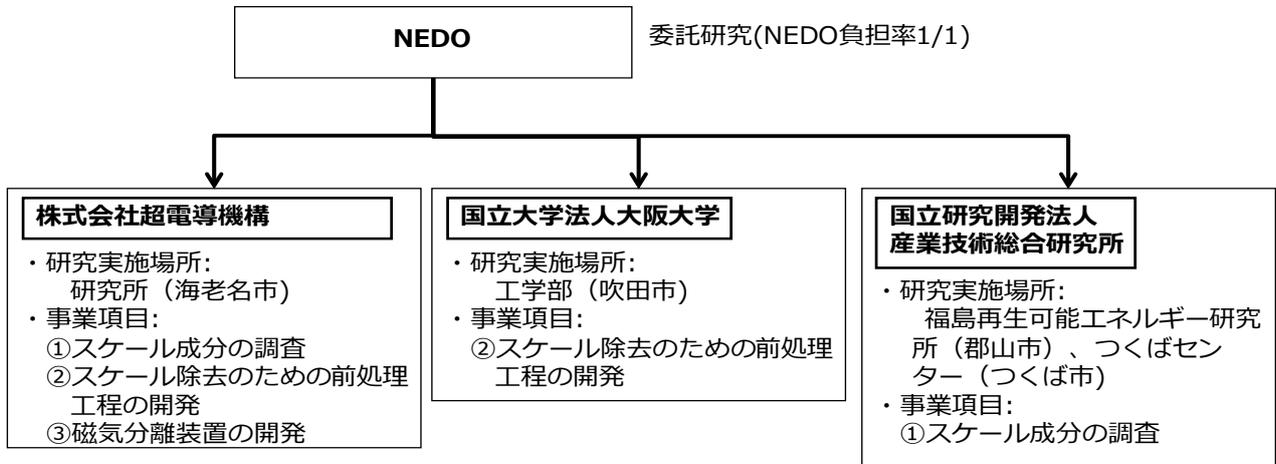


(3.4) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

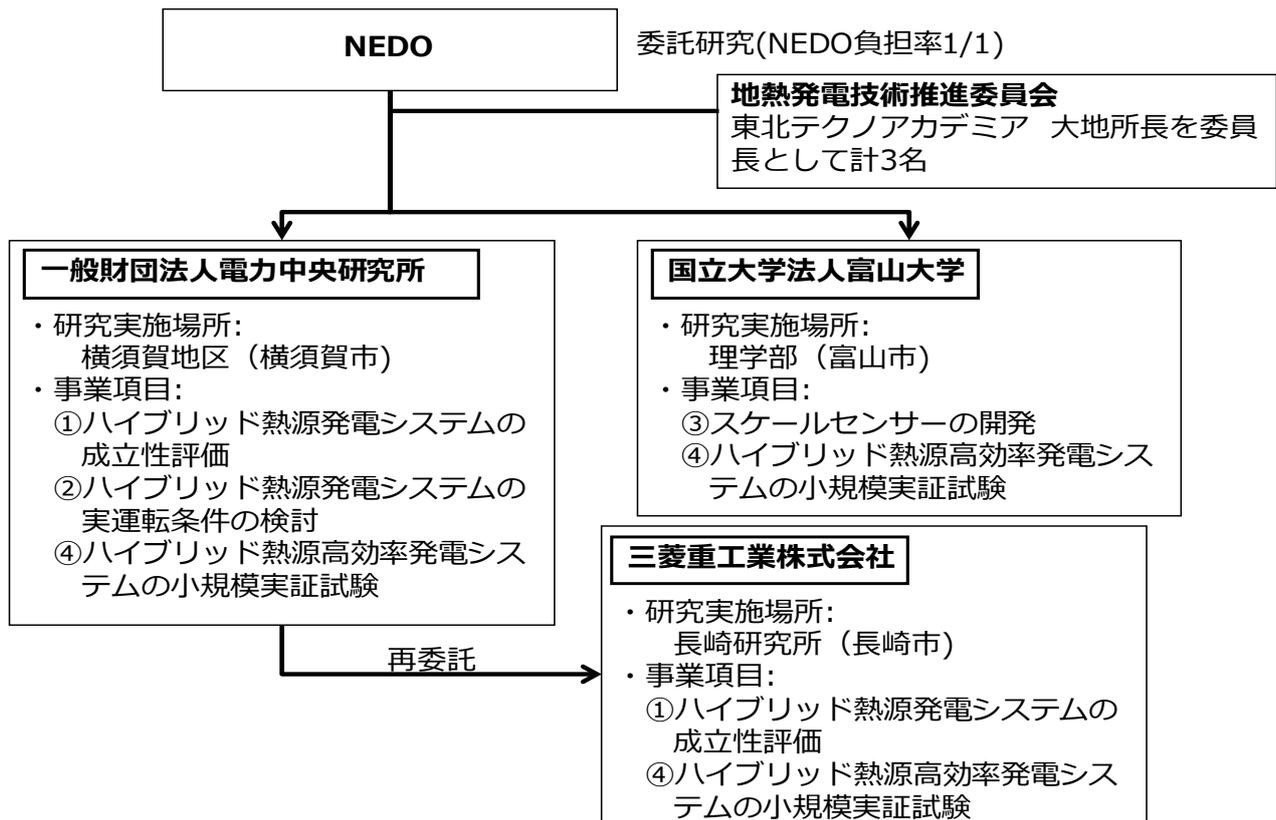


(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

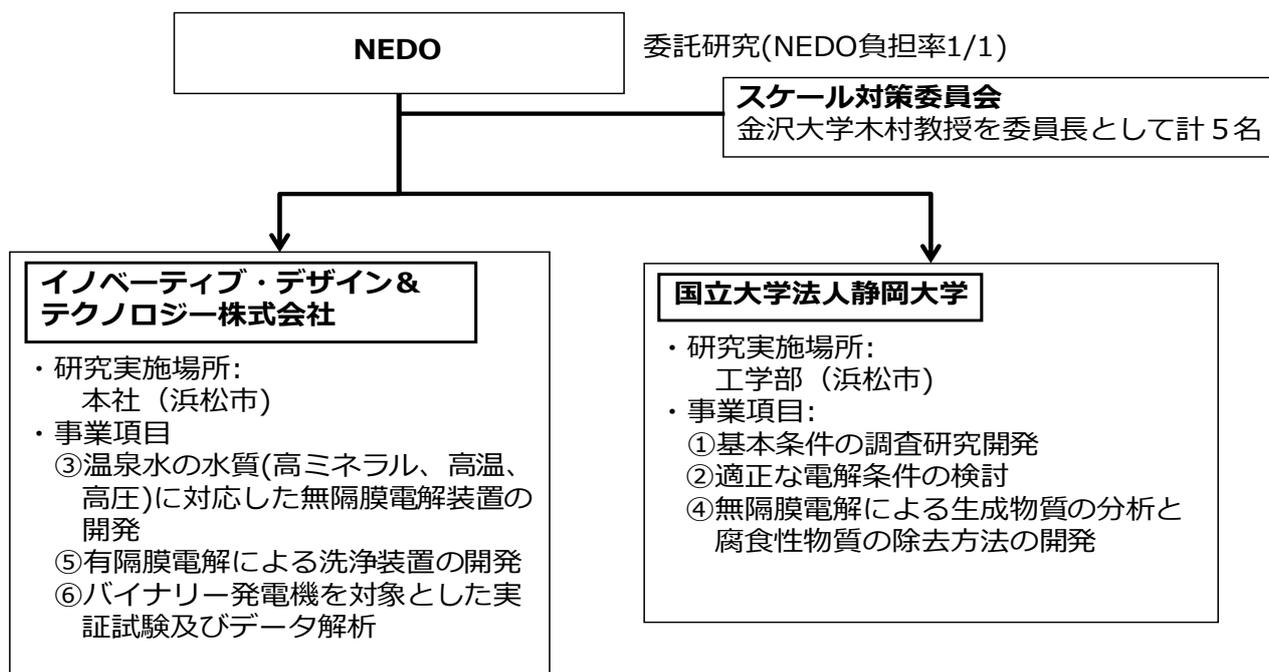
(4.1)低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発



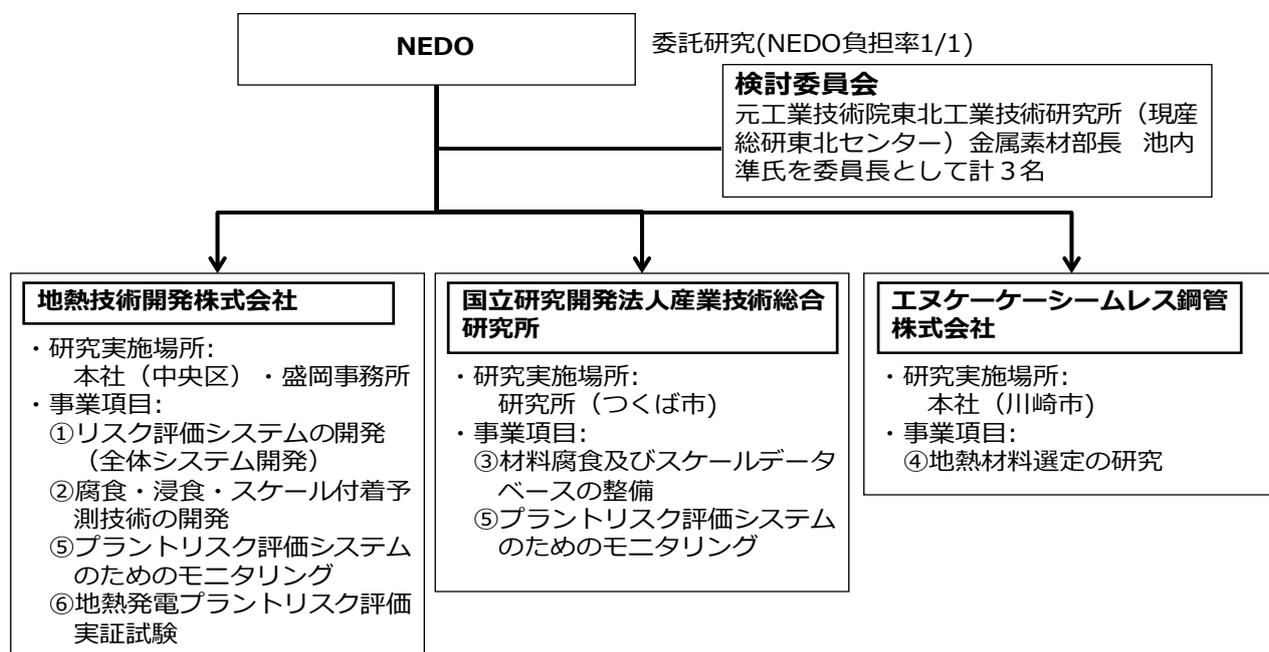
(4.2)地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発



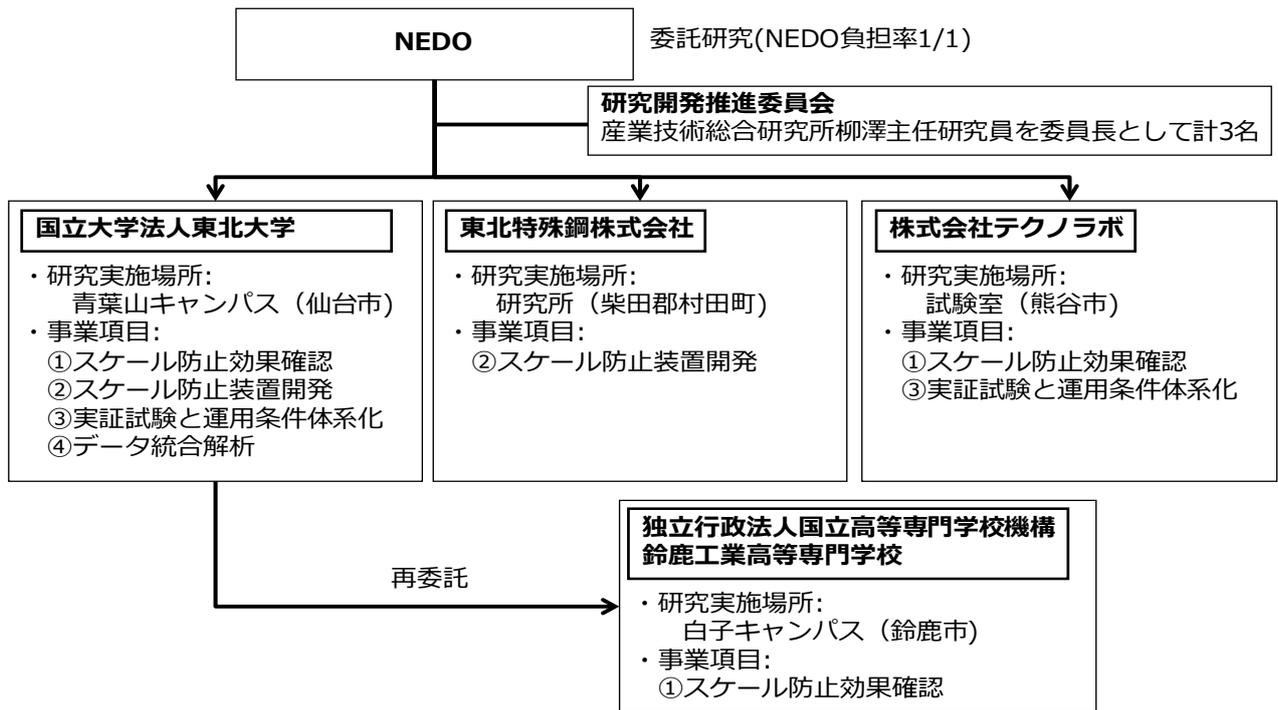
(4.3) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発



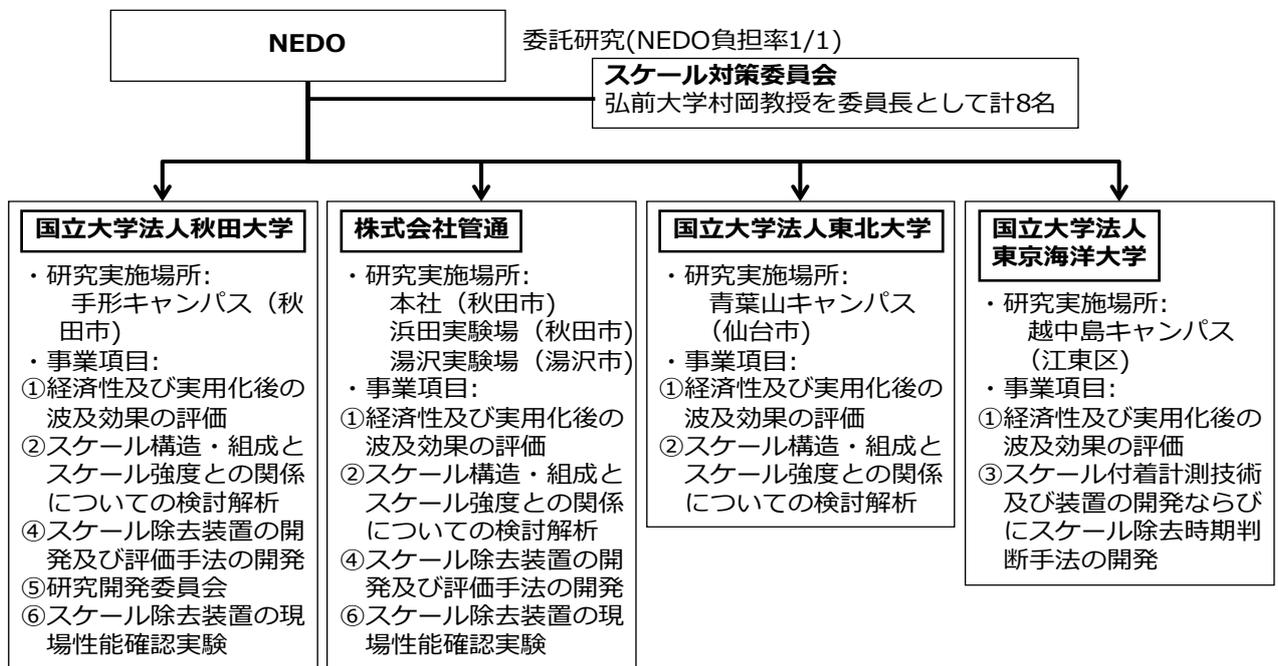
(4.4) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)



(4.5) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発



(4.6) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発



II.2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

開発項目の着実な実施と確実な達成に向け、適時、技術委員会(含、実証現地開催)を開催し、NEDOおよび実施者で実施内容や目標設定を修正、検討する会議を設けている(表II 2.3-1.1～4.6)。

(1) 環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

表II 2.3-1.1 地熱複合サイクル発電システムの開発 NEDO 事業「地熱複合サイクル発電システムの開発」推進委員会

株式会社東芝

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	飛原 英治	国立大学法人 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
委員	土屋 範芳	国立大学法人 東北大学 大学院環境科学研究科 教授
委員	宗像 鉄雄	独立行政法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 所長代理

所属は、委員会組織時点のもの

(2) 低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

表II 2.3-2.1 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化 開発会議
アネスト岩田株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	松田 圭悟	国立大学法人 山形大学 大学院理工学研究科 准教授 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 福島再生可能エネルギー研究所 再生可能エネルギー研究センター クロスアポイントメントフェロー
委員	古谷 博秀	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 福島再生可能エネルギー研究所 再生可能エネルギー研究センター 副センター長
委員	前田 哲彦	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 福島再生可能エネルギー研究所 再生可能エネルギー研究センター
委員	桂木 聖彦	日本地下水開発株式会社 常務取締役
委員	藤岡 完	アネスト岩田株式会社 圧縮機器事業部開発技術部 コアコンポーネント開発プロジェクト マネージャー
委員	和泉 孝明	アネスト岩田株式会社 圧縮機器事業部開発技術部 コアコンポーネント開発プロジェクト

所属は、開発会議組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.2 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発 スケール対策委員会

国立大学法人東京海洋大学
株式会社エディット
国立大学法人横浜国立大学
国立大学法人長崎大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	村岡 洋文	国立大学弘前大学 教授
副委員長	本多 宣彰	一般社団法人小浜温泉エネルギー 代表理事
委員	野田 徹郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所 顧問
委員 (2015年10月-)	紀平 寛	株式会社日鉄住金防蝕 技術開発部長

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.3 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発 技術検討委員会

アドバンス理工株式会社(平成26年12月、アルバック理工株式会社から名称変更)
株式会社馬淵工業所

ア. 研究開発進捗報告委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	五戸 成史	アドバンス理工株式会社・代表取締役社長
副委員長	小野 寿光	株式会社馬淵工業所・代表取締役
委員	遠藤 聡	アドバンス理工株式会社・研究開発部 部長
委員	萬谷 清高	アドバンス理工株式会社・研究開発部 係長
委員	相良 宏	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	藤巻 慎一	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	矢部 敏仁	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	笹原 康介	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	飯高 佑一	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	中西 大	アドバンス理工株式会社・研究開発部 課員
委員	水上 貴志	株式会社馬淵工業所・環境事業部・工事部統括マネージャー
委員	相澤 直信	株式会社馬淵工業所・環境事業部 マネージャー
委員	菅原 洋一	株式会社馬淵工業所・メンテナンス事業部 統括マネージャー
委員	市川 俊雄	株式会社馬淵工業所・工事部 土木技術マネージャー

委員	松田 龍一	株式会社馬淵工業所・工事部 技術グループリーダー
委員	太田 忠吉	株式会社馬淵工業所・メンテナンス事業部 工務マネージャー
委員	大石 基也	株式会社馬淵工業所・工事部 課員
委員	熊谷 克彦	株式会社馬淵工業所・工事部 課員
委員	佐藤 智範	株式会社馬淵工業所・工事部 課員
委員	本村 幹男	株式会社馬淵工業所・環境事業部 課員
委員	寺野 悠二	株式会社馬淵工業所・環境事業部 課員
委員	永澤 宇翔	株式会社馬淵工業所・環境事業部 課員
委員	菅井 雄磨	株式会社馬淵工業所・環境事業部 課員
委員	前田 圭一郎	有限会社 GMP 創房・取締役
委員	須藤 理枝子	株式会社さがみはら産業創造センター(SIC)さがみはら表面技術研究所・所長

所属は、委員会組織時点のもの

イ. 外部専門家招聘評価委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	井口 泰孝	みやぎ産業振興機構理事長 東北大学名誉教授ほか・工学博士
副委員長	内海 康雄	仙台高等専門学校副校長・地域人材育成開発本部長・教授・工学博士
委員	村岡 洋文	弘前大学・教授・工学博士 北日本新エネルギー研究所所長
委員	前田 圭一郎	有限会社 GMP 創房・取締役
委員	須藤 理枝子	株式会社さがみはら産業創造センター(SIC)さがみはら表面技術研究所・所長

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ.2.3-2.4 スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発 研究推進委員会
京葉プラントエンジニアリング株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	林 秀千人	国立大学法人長崎大学 大学院工学研究科 教授
委員	石渡 久照	静岡県熱海市 市民生活部理事(環境担当)
委員	佐々木 裕	一般社団法人小浜温泉エネルギー 事務局長

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.5 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発 研究推進委員会
 国立大学法人東京大学
 旭硝子株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	門出 政則	九州大学 水素材料先端科学研究センター・特任教授
副委員長	北村 健郎	日本フルオロカーボン協会・事務局長
委員	高橋 俊雄	株式会社 IHI・回転機械セクター開発部バイナリー発電システムグループ部長

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.6 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発 技術検討委員会
 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
 株式会社アーカイブワークス
 国立大学法人東京大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長(事務局案)	吉識 晴夫	(公社)建設荷役車両安全技術協会 会長(東京大学名誉教授)
委員	荒川 忠一	東京大学大学院工学系研究科 教授
委員	刑部 真弘	東京大学大学院工学系研究科 教授
委員	金子 成彦	東京大学大学院工学系研究科 教授
委員	長崎 孝夫	東京工業大学大学院総合理工学研究科 准教授
委員	古谷 博秀	国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究センター 副研究センター長

所属は、委員会組織時点のもの

(3) 発電所の環境保全対策技術開発

表Ⅱ2.3-3.1 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発 技術検討委員会
 日揮株式会社
 学校法人明星大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	義江 龍一郎	東京工芸大学 工学部 建築学科 教授
委員	野田 徹郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 顧問
委員	井上 和也	国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門環境暴露モニタリンググループ 主幹

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-3.2 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発 地熱発電所
硫化水素拡散調査検討委員会

一般財団法人電力中央研究所

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	市川 陽一	学校法人龍谷大学
委員	近藤 裕昭	国立研究開発法人産業技術総合研究所
委員	野田 徹郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所
委員 (平成 27 年 2 月 4 日まで)	津崎 英男	電気事業連合会
委員 (平成 27 年 2 月 5 日より)	岡峰 克幸	電気事業連合会

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-3.3 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発 開発推進委員
会

国立研究開発法人産業技術総合研究所
地熱エンジニアリング株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	野田徹郎	日鉄鉱コンサルタント 顧問
副委員長	益子 保	公益財団法人中央温泉研究所 所長
委員	田籠功一	西日本技術開発株式会社 地熱業務本部副本部長
委員	戸津健太郎	東北大学マイクロシステム融合研究開発センター 准教授

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-3.4 エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発 アドバイザー検
討委員会

清水建設株式会社
株式会社風景デザイン研究所
学校法人法政大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	野田 徹郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサー チャー
委員	斎藤 馨	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
委員	安達 正敏	国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部事業企画 ユニット シニアコーディネーター

所属は、委員会組織時点のもの

(4) 地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

表 II 2.3-4.2 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発 技術検討委員会
一般財団法人電力中央研究所
国立大学法人富山大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	大地 昭生	東北テクノアカデミア 産学連携事務所 所長
委員	有木 和春	三菱マテリアル株式会社 エネルギー事業部 地熱・電力部長
委員	石崎 潤一	東北電力株式会社 火力原子力本部 火力部 副長

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-4.3 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発 技術検討委員会
イノベティブ・デザイン&テクノロジー株式会社
国立大学法人静岡大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	木村 繁男	金沢大学 環日本海域環境研究センター 機能機械工学科 教授
委員	花岡 孝吉	株式会社バイオドックス研究所 所長
委員	藤野 敏雄	株式会社エディット 代表取締役社長
委員	松島 良華	元 静岡大学 工学部 物質工学科 教授
委員	吉田 裕	吉田技術士事務所 所長

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-4.4 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理) 技術検討委員会

地熱技術開発株式会社
国立研究開発法人産業技術総合研究所
エヌケーケーシームレス鋼管株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	池内 準	元工業技術院 東北工業技術研究所 金属素材部長
委員	真田 徳雄	元産業技術総合研究所 東北センター 基礎素材研究部門 主任研究員
委員	倉田 良明	元産業技術総合研究所 東北センター 超臨界流体研究センター 主任研究員
委員	未定	(実証試験場を提供する企業より選定)

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-4.5 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発 技術検討委員会

国立大学法人東北大学
東北特殊鋼株式会社
株式会社テクノラボ

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	柳澤 教雄	産業技術総合研究所 主任研究員
副委員長	村松 淳司	東北大学多元物質科学研究所 教授
委員	木下 睦	東北大学大学院環境科学研究科 准教授

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-4.6 バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発 技術検討委員会

国立大学法人秋田大学
株式会社管通
国立大学法人東北大学
国立大学法人東京海洋大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	村岡 洋文	弘前大学北日本新エネルギー研究所 所長・教授
副委員長	藤野 敏雄	株式会社エディット 代表取締役
委員	梅澤 修	横浜国立大学大学院工学研究院 教授
委員	木下 睦	東北大学大学院環境科学研究科 准教授
委員	北澤 実雄	株式会社コベルコ科研 主席部員
委員	清水 誠二	日本大学工学部 教授
委員	福元 裕彦	株式会社コベルコ科研 主席研究員
委員	彭 國義	日本大学工学部 教授

所属は、委員会組織時点のもの

(知的財産権等の取り扱い)

開発成果に対する取り扱いとして、委託事業の成果に関わる知的財産権等については原則として、すべて実施機関に帰属させることとする(「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等)。

実施機関においては、我が国の産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の特徴を踏まえた知的財産マネジメントを実施する。

知的財産マネジメントとして、例えば、技術成果の公開や権利化を通して、地熱発電技術を普及させるためのマネジメントや、開発技術や研究成果をオープンソースとして公開し技術の普及や浸透を目指すマネジメントなど、各実施機関のマネジメント戦略に基づく取り扱いを行う。

II.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および各研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、外部有識者による技術検討委員会の設置を要請し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる他、進捗について報告を受けること等を行った。技術検討委員会には、政策上の意向も反映するために経済産業省にもオブザーバーとして参加して頂いた。

特に、スケール対策には多数の事業者が携わっていることから、目的、計画、進捗の共用と、課題及び解決手法の共有を行うことを目的として、当該事業者が一同に会するスケール対策技術交流会を実施し、実用化に向けたマネジメントを行った(表II.2.4-1)。

表II.2.4-1 スケール対策技術交流会

開催日	場所	内容
平成27年4月17日	NEDO	研究開発テーマ毎に事業の目的、計画、平成26年度までの実施状況及び平成27年度の計画の報告、課題及び解決手法の情報交換

II.3 情勢変化への対応

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても地熱発電は、発電コストも低く、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源として位置づけられており、重要なテーマであるとの認識のもと、平成26年度には追加公募を2回実施した。また、「研究開発テーマ」の再確認・再構築・拡充に取り組む必要があると判断し、平成27年5月「NEDO地熱発電技術研究開発の今後の進め方に関する検討委員会」を設置し、議論を行った。

研究開発の進捗、試験的に導入されているバイナリー発電設備において、スケール対策技術の複雑性・重要性が認識されたため、スケール対策検討会を開催し、各テーマの間の情報交換の促進を図った。

環境省において平成27年3月より「国立・国定公園内の地熱開発に係る優良事例形成の円滑化に関する検討会」が開催され、優良事例形成に向けた議論が開始されたが、当該事業採択テーマで既に優良事例形成に資する取り組みを開始している。(エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発[平成26年12月採択] 等)

II.4 評価に関する事項

技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成30年度に実施する。

III. 研究開発成果について

III.1 事業全体の成果

III.1.1 研究開発項目毎の成果

(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

研究開発項目①環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発の中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-1に示す。

表Ⅲ. 1. 1-1 中間目標の達成度

FY27 末目標	成果	達成見込
複合サイクル発電システム実証設備の各機器の設計を完了し、実証場所を確保出来た場合に各機器の製作を完了する。	複合サイクルに適する低沸点媒体を選定し、目標熱効率 20%へ到達するヒートバランスを構築した。このヒートバランスに基づき、バイナリータービンおよび各種熱交換器の機器開発・設計を完了した。	△

最終目標達成の見通しは以下のとおり。(表Ⅲ. 1. 1-2)

表Ⅲ. 1. 1-2 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
地熱発電システムの小型化に資する技術を確立する。	大型地熱発電所への適用を想定した目標を設定し、技術例示を行った上で、公募を実施したが、現在進行している案件がない状況。	外部有識者からなる「地熱発電技術研究開発の今後の進め方に関する検討委員会」を設置し、実証試験のあり方や「研究開発項目」の再構築・拡充などを議論している。

(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

研究開発項目②低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発の中間目標に対する成果と達成度としては、平成27年度で終了予定の「無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリーシステムの開発」等において成果達成見込み。(表Ⅲ. 1. 1-3)

表Ⅲ.1.1-3 中間目標の達成度

FY27 末目標	成果	達成見込
潤滑油不使用の小型バイナリーシステム、ハイブリッド型小規模発電システムで熱効率 7%以上を達成する。	H27.7 現在、膨張機を設計・製作、単体試験による最適化、試作発電システムによる評価試験を実施。摩擦試験によるシール材料のスクリーニングを実施。	○

最終目標達成の見通しは以下のとおり。(表Ⅲ. 1. 1-4)

表Ⅲ. 1. 1-4 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率 7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。	熱効率 7%運転の実現	試作システムの試運転とチューニングを通じて改良を行い、平成 27 年度末迄に達成する見通し。

(3)発電所の環境保全対策技術開発

研究開発項目③発電所の環境保全対策技術開発の中間目標に対する成果と達成度としては、平成27年度で終了予定の「地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発」等において成果達成見込み。(表Ⅲ. 1. 1-5)

表Ⅲ.1.1-5 中間目標の達成度

FY27 末目標	成果	達成見込
硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する数値モデルの開発	正規分布型プルーム式に基づく簡易予測数値モデルおよび3次元数値流体力学(CFD)モデルによる詳細予測数値モデルの基幹部分の開発を完了。	○

最終目標達成の見通しは以下のとおり。(表Ⅲ.1.1-6)

表Ⅲ.1.1-6 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。	H27年度末までに、開発した数値モデルを実地形による風洞実験結果との比較検証を通じて改良を行う。	現状においても、空間濃度、着地濃度ともに精度良く再現できている。

(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

研究開発項目④地熱発電所の導入拡大に資する革新的技術開発としては、「地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発」等において成果達成見込み。(表Ⅲ.1.1-7)

表Ⅲ.1.1-7 中間目標の達成度

FY27 末目標	成果	達成見込
地熱と、バイオマスを始めとする他の未利用エネルギーとを組み合わせたハイブリッド熱源高効率発電システムを提案し、その成立性を評価する。	発電コストがFIT価格を下回ることを確認したほか、国立公園内の仮想立地点において、バイオマスの集積可能量と、運搬・チップ化までを含めた調達コストとの関係を明らかにした。	○

最終目標達成の見通しは以下のとおり。(表Ⅲ.1.1-8)

表Ⅲ.1.1-8 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
スケール防止対策の確立により、特にバイナリー発電システムの運営コストを低減	H25年度開始テーマでは、実温泉での効果測定実証試験と現場適用方法の検討。 H26年度開始テーマでは、機器開発や実証試験推進。	種々地熱熱水に対する特性を評価し、使用可能な泉質と方法の検討を行い、スケール対策を確立する。

Ⅲ.1.2 知的財産等の取得、成果の普及

成果の普及については、NEDOは、技術情報流出に配慮しつつ、実用化・事業化を推進するため、情報発信を行うように指導している。事業全体の特許、論文、外部発表等の件数を表Ⅲ-3に示す。NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っている。

表Ⅲ.1.2-1 事業全体の特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	1件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H26FY	3件	0件	0件	1件	2件	42件	1件	4件
H27FY	1件	0件	0件	0件	0件	4件	2件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成27年6月30日現在。NEDO分は含まない。

Ⅲ.1.3 個別テーマ毎の成果(まとめ)

(1)中間目標(平成27年度)に対する成果

本事業は、多岐にわたる技術領域と多くの研究開発テーマを要していることから、個別テーマごとに中間目標を設けている。個々のテーマについて、27年度末中間目標に対して順調に成果を得ている。(表Ⅲ.1.3-1)。

表Ⅲ.1.3-1 個別テーマの目標と成果(中間目標)

研究開発テーマ	FY27 末目標	現状成果	課題と解決方針
(1.1) 地熱複合サイクル発電システムの開発	・複合サイクル発電システム実証設備の各機器の製作を完了し、実証場所を確保できた場合に各機器の製作を完了する。	・複合サイクルに適する低沸点媒体を選定し、目標熱効率 20%へ到達するヒートバランスを構築した。このヒートバランスに基づき、バイナリータービンおよび各種熱交換器の機器開発・設計を完了した。	・実証試験未実施で契約を完了した。
(2.1) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化	・潤滑油不使用で連続 30,000 時間運転(約 4 年)を見極める。 ・10 百万円/11kW システムを実現する。	・膨張機を設計・製作して単体試験で最適化した。その上で発電システムを試作し、実地試験を含む評価試験を実施した。また、摩擦試験によるシール材料のスクリーニングを実施した。	・温泉地での実証試験で完成度を高め、システムを改良する。
(2.2) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発	・実験室環境で大きな耐スケール効果を発揮する材料を開発する。 ・実地環境でメンテナンス間隔を 1.5 倍に延長する。	・実験室環境で、スケール初期付着を従来材と比較して 75%以上削減できる材料を開発した。 ・メンテナンス間隔を延長できる手法を設計した。	・実地環境でメンテナンス間隔 1.5 倍延の実現を実証する。
(2.3) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発	・温水と蒸気によるハイブリッド発電システムで 1~6kW の出力を検証する。5 百万円/1 システムを実現する。	・温水発電では現場の実証実験で 3kW 以上の発電出力が得られた。蒸気発電の二次試作では実験室で発電出力 2.3kW を達成し、現場実証試験を開始した。	・温泉水流量と蒸気流量を制御し、発電出力を最大化するとともに、スケール対策に効果的な採熱方法を確立する。
(2.4) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発	・ラボ試験において、発電システム全体での発電効率 7% 以上の達成見通しを示す。	・スケール除去フラッシュタンク、高効率蒸気/冷媒熱交換器、低圧蒸気制御システム、小型蒸発式凝縮器を開発し、実機を製作した。	・開発機器の性能を確認、発電システム全体での性能を検証、課題を抽出して、改善を進める。
(2.5) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発	・伝熱特性から要求される流体物性値の指針を獲得する。 ・高性能作動流体の候補構造を決定する。	・熱交換器シミュレーション手法を構築し、液体熱伝導率が支配的であると指針を得た。 ・熱交換器三次元解析のための二相流解析手法を構築した。	・予定通り進行しているが、今後分子シミュレーション技法のオレフィン化合物などへの拡張を完成させることで、新規媒体の候補構造を決定する。
(2.6) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発	・温水温度 85℃以下、冷却水温度 15℃で送電端発電効率 6% 以上を実証する。	・設計点における発電装置の基本設計及びフィールドテスト地点の温水・冷却水の条件測定を実施した。	・発電装置の製作を確実にを行うと共に、配管の圧力損失低減、不凝縮ガスの除去、補機消費電力の削減等にも留意して高効率化を図る。
(3.1) 硫化水素拡散予測数値モデルの研究開発	・硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する。	・地勢データから CFD 計算結果導出までの一連の計算が実施できる数値モデルを構築した。	・開発する数値モデルを風洞実験結果との比較検証を通じて改良を行う。
(3.2) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発	・硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する。	・正規分布型ブルーム式に基づく簡易予測数値モデルおよび 3 次元数値流体力学 (CFD) モデルによる詳細予測数値モデルの設計および基盤部分の開発を完了した。	・風洞実験との比較検証により数値モデルの予測精度を向上させる。
(3.3) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発	・実験室に設置した温泉配管模擬装置を使用して模擬温泉水の物性を測定可能なプロトタイプ装置を実現する。	・温泉地の給湯設備、センサ、マイコン、通信機器等の調査を行い、プロトタイプ 1 号機の詳細設計を完了した。 ・室内実験装置を組み立て、プロトタイプ装置を使用した性能評価のための環境を整備した。 ・温泉地でのセンサへのスケール付着試験を開始した。	・市販センサを利用しているため、外形が当初見込みより大きくなる可能性があるが、オーバーサベックな機能を省いて単機能化することで小型化を図る。
(3.4) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発	・配慮手法パターン集を完成する。 ・自然環境・景観分析手法を明確化する。	・現地調査を基にした配慮手法パターン集の暫定版を作成した。 ・支援アプリ試用版の「要件定義」について項目別に整理した。	・既存地熱発電所に係る優良事例は把握できつつあるため、いかにツール化し、一般化するかが課題。具体的には実地点でのケース

	<ul style="list-style-type: none"> ・エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ試用版を開発する。 		<p>スタディを通じて、課題の解決を図る。</p>
(4.1) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・出力 50kW 級温泉バイナリー設備(温泉水量 30t/h)に対応可能な、シリカの濃度を 150ppm まで低減できる磁気分離装置を製作する 	<ul style="list-style-type: none"> ・処理温水量 5t/h の磁気分離装置を試作し、シリカ濃度を 150ppm まで低減できる性能を確認した。 ・スケールアップの単機容量は、経済的で、メンテナンス性・安全管理上も現実的である 10t/h との結論を得た。 	<ul style="list-style-type: none"> ・流速が速くなるとフロックが崩れやすくなるため、薬品の調製とフロックを崩さない抜出し方法を考慮した装置改良を行った、単機能力 10t/h の、磁気処理装置を製作し、実証試験を行う。
(4.2) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・地熱エネルギーと、バイオマスを始めとする他の未利用エネルギーとを組み合わせたハイブリッド熱源高効率発電システムを提案し、その成立性を評価する ・リアルタイムにスケールの付着状況を遠隔モニタリングすることが可能な新規センシング技術を開発する 	<ul style="list-style-type: none"> ・チップ原料を外部熱源とするハイブリッド熱源発電システムにおいてバイオマスの FIT 価格を下回ることが分かった。国立公園内の仮想立地点において、バイオマスの集積可能量と、運搬・チップ化までを含めた調達コストとの関係を明らかにした。 ・炭酸カルシウムおよびシリカスケールのセンサへの付着量に応じたセンサの透過率の減衰を確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用機を想定し、より詳細なシステムの成立性評価、ならびに具体的な立地点におけるバイオマスのポテンシャル評価を行う。 ・多点およびリアルタイム計測技術を確立するため、実際の発電所で実証試験を行う。
(4.3) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・無隔膜式及び有隔膜式電解装置を用いた電解水によるスケール除去及び付着防止効果の確認を行う。 ・電解水によるスケール除去メカニズムの究明および各スケール成分に対する最適電解条件の解明、理論モデルの確立をする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・無隔膜式及び有隔膜式電解装置を用いた電解水によるスケール除去及び付着防止効果確認方法の検討、実証機の製作及び実証試験を開始した。 ・さらにスケール除去の要因と推察されるイオン輸送のモデリングについて着手した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電解水によるスケール除去及び付着防止効果の確認のため、適切なシステムの構築と評価方法を検討する。 ・スケール除去理論モデルと実証試験とを関連づけるため、種々パラメータを変えた基礎実験および実証試験を行いその相似性を導き出す。
(4.4) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク評価システムの基本設計として、リスクケースの網羅的分類とインプット・アウトプットの整理を行う。 ・腐食・スケール予測技術モジュールの基本設計・製作を行い、過去の事例により検証する。 ・モニタリング用実証試験装置を設計・製作し、動作確認を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク評価システムの概念設計を完了し、全体開発システムのフローを構築した。 ・CFD モジュールの製作を完了し、坑井・配管での二相流計算精度を確認し、化学反応モジュールの EXCEL 版を作成し、さらに地熱材料腐食・スケールに関するデータ収集・整理を行った。 ・モニタリング用実証試験装置の設計を完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスクケースの網羅的分類を進める。 ・データベースから適切な条件の事例を検索するため、事例検証を進め、典型的に問題解決のアルゴリズムの整備を図る。 ・モニタリング用実証試験装置の製作及び動作確認試験を行う。
(4.5) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波、電磁場及びその複合処理の基礎実験によるスケール防止挙動を確認する。 ・ハイブリッドスケール防止装置を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波、電磁場及びその複合処理効果を基礎実験により確認した。 ・実証試験用高周波電源装置を開発した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波発振部、及びその接合部の耐久性を向上するため、コーティング材、並びに使用周波数域の検討を行う。
(4.6) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・スケール除去に関する導入・運用コストの 10%削減を実現するデスケーリング装置を設計する。 ・温度測定式モニタリング装置を開発する。 ・高温で稼動可能なデスケーリング装置の設計指針を提案する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉱物学・結晶学的見地ならびに売電継続効果から導入・運用コストを 10%削減するデスケーリング装置の設計指針を作成した。 ・温度計測式モニタリング装置の試作機を開発した。 ・常温で稼動可能なデスケーリング装置を開発し、高温で稼動可能なデスケーリング装置の設計指針を作成した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・デスケーリング装置の温泉熱水に対する耐熱性、耐圧性能の向上及び温泉熱水中でのノズルの移動を可能とするため、室内及び現場実験により性能を検証し、機能を改善する。 ・温度測定式モニタリング装置の測定点を削減するために、配管内流れとスケール付着の相関性を解析し測定手法を改善する。

(2)最終目標の達成見通し

表Ⅲ.1.3-2 個別テーマの目標と成果(最終目標に対する成果)

研究開発テーマ	現状	最終目標[目標年度]	達成見通し
(1.1) 地熱複合サイクル発電システムの開発	・複合サイクルに適する低沸点媒体を選定し、目標熱効率 20%へ到達するヒートバランスを構築した。このヒートバランスに基づき、バイナリータービンおよび各種熱交換器の機器開発・設計を完了した。	[H29] ・効率 20%以上を目標とした MW 級複合サイクルを確立する。	・実証試験未実施で契約を完了した。
(2.1) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化	・膨張機を設計・製作して単体試験で最適化した。その上で発電システムを試作し、実地試験を含む評価試験を実施した。また、摩擦試験によるシール材料のスクリーニングを実施した。	[H27] ・潤滑油不使用で連続 30,000 時間運転(約 4 年)を見極める。10 百万円/11kW システムを実現する。	・温泉地での実証試験でシステムを改良し、完成度を高めることで目標達成見込みである。
(2.2) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発	・実験室環境で、スケール初期付着を従来材と比較して 75%以上削減できる材料を開発した。 ・メンテナンス間隔を延長できる手法を設計した。	[H27] ・実験室環境で大きな耐スケール効果を発揮する材料を開発する。 ・実地環境でメンテナンス間隔を 1.5 倍に延長する。	・実地環境でメンテナンス間隔 1.5 倍延の実現を実証することにより達成見込みである。
(2.3) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発	・温水発電では現場の実証実験で 3kW 以上の発電出力が得られた。 ・蒸気発電の二次試作では実験室で発電出力 2.3kW を達成し、現場実証試験を開始した。	[H27] ・温水と蒸気によるハイブリッド発電システムで 1~6kW の出力を検証する。5 百万円/1 システムを実現する。	・温泉水、蒸気流量制御による発電出力の最大化と、スケール対策に効果的な採熱方法の確立により達成見込みである。
(2.4) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発	・スケール除去フラッシュタンク、高効率蒸気/冷媒熱交換器、低圧蒸気制御システム、小型蒸発式凝縮器を開発し、実機を製作した。	[H28] ・発電システムとして、発電効率(熱交換器への温泉熱入力エネルギーに対する発電出力比)7%以上を実証。	・開発設備の個別性能確認と、発電システムとしての性能検証、課題を抽出して改善するので、最終目標を達成見込みである。
(2.5) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発	・熱交換器シミュレーション手法を構築し、液体熱伝導率が支配的であるとの指針を得た。 ・二相流解析手法を構築した。	[H29] ・沸点 30~50℃程度、ODP ほぼ 0、GWP100 以下の新しい高性能低沸点流体を開発する。	・現時点で計画通り進行しており、現有の含フッ素化合物の合成技術を活かすことで目標の新規媒体の開発は可能であると見通している。
(2.6) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発	・設計点における発電設備の基本設計を実施、発電設備の設計/製作を実施した。 ・温度、流量変動による発電設備の出力変動など試算を実施した。	[H29] ・温泉水温度 85℃以下、冷却水温度 15℃で送電端発電効率 7%以上を実証、温泉水温度 65℃において送電出力できる事を実証する。 ・温度、流量変動への対応、長時間運転時の安定性やメンテナンス性等を評価し、信頼性を確立するとともに、採算性を実証する。	・基本設計の試算結果から目標を達成する効率が得られる見通しを得た。 ・フィールドテスト試験により、信頼性を確立する見込み、また発電設備のコストダウンにより採算性を実証する見通しを得た。
(3.1) 硫化水素拡散予測数値モデルの研究開発	・地勢データから CFD 計算結果導出までの一連の計算が実施できる数値モデルを構築済み。	[H27] ・硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する。	・開発する数値モデルを風洞実験結果との比較検証を通じて改良を行うことで達成見込み。
(3.2) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発	・正規分布型ブルーム式に基づく簡易予測数値モデルおよび 3 次元数値流体力学 (CFD) モデルによる詳細予測数値モデルの設計および基盤部分の開発を完了済	[H27] ・硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する。	・風洞実験との比較検証により数値モデルの予測精度を向上させることで達成見込み。
(3.3) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発	・実験室に設置した温泉配管模擬装置を使用して模擬温泉水の物性を測定可能なプロトタイプ装置を実現予定。	[H29] ・ほぼそのままの形で実用可能な「実用モデル」を実現する。 ・本装置の価格削減法、運用法等について提言する。	・現時点で計画通りプロトタイプ完成を見込んでおり、引き続き室内実験と実証試験を通して性能を改良していくことで目標を達成する見通し。
(3.4) エコロジカル・	・机上検討及び現地調査に基づき、配	[H29]	・FY28 以降、ケーススタディ

ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発	慮手法のボタン集の暫定版を作成し、支援アプリ試用版の「要件定義」について項目別に整理した。	・エコロジカル・ランドスケープ適用手法を明確化し、エコロジカル・ランドスケープ支援アプリを完成させ一連の配慮手法をマニュアル化することでツール化する。	を実施することで、実際の地熱発電所開発で適用可能なものとなり、最終目標を達成できる見込み。
(4.1) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発	・処理温水量 5t/h の磁気分離装置を試作し、シリカ濃度を 150ppm まで低減できる性能を確認した。 ・スケールアップの単機容量は、経済的で、メンテナンス性・安全管理上も現実的である 10t/h との結論を得た。	[H27] ・出力 50kW 級温泉バイナリー設備(温泉水量 30t/h)に対応可能な、シリカの濃度を 150ppm まで低減できる磁気分離装置を製作する。	・流速が速くなるとフロックが崩れやすくなるため、薬品の調製とフロックを崩さない抜出し方法を考慮した装置改良を行った、単機能力 10t/h の、磁気処理装置を製作し、実証試験を行うことにより達成見込み。
(4.2) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発	・チップ原料を外部熱源とするハイブリッド熱源発電システムにおいてバイオマスの FIT 価格を下回ることが分かった。国立公園内の仮想立地点において、バイオマスの集積可能量と、運搬・チップ化までを含めた調達コストとの関係を明らかにした。 ・炭酸カルシウムおよびシリカスケールのセンサへの付着量に応じたセンサの透過率の減衰を確認した。	[H29] ・スケールセンサを組み込んだ小規模実証試験を完了する。	・実証試験場所が選定されれば、平成 28 年度から実証試験設備の製作を開始する予定であり、実証試験が完了できる見込み
(4.3) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発	・無隔膜式及び有隔膜式電解装置を用いた電解水によるスケール除去及び付着防止効果を確認するため実証試験を開始した。 ・スケール除去の要因と推察するイオン輸送モデルの構築を開始した。	[H29] ・開発した電解装置によるスケール除去効果、スケールの付着抑制効果、耐食性等の信頼性を検証する。 ・電気分解によるスケール除去理論モデルの妥当性を検証する。	・実証試験において、スケール除去効果および付着抑制効果を検証中である。今後、泉質の異なる場所で試験を行ない効果の適用範囲を確認することで目標達成見込み。 ・具体的なスケール除去理論モデルの検討段階に入っている。今後、実証試験データとの整合性の確認および、実証試験に組み込んだ形での評価を行なうことで、目標達成見込み。
(4.4) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)	・リスク評価システムの概念設計完了し、全体開発システムのフローを構築した。 ・CFD モジュールの製作を完了し、坑井・配管での二相流計算精度を確認し、化学反応モジュールの EXCEL 版を作成し、さらに地熱材料腐食・スケールに関するデータ収集・整理を行った。 ・モニタリング用実証試験装置の設計を完了した。	[H29] ・事前に予測技術とデータベースを用いて行ったプラントリスク評価と提示した対策方法の効果が、実証試験で得られた結果と一致する。 ・実証試験が可能な箇所において、本研究で開発したプラントリスク評価システムに基づき選定した問題発生への対応策を施すことにより問題発生までの期間を 20%以上延長できることを確認する。	・平成 27 年 6 月時点で工程の遅れもなく、予想通りの成果が得られている。 ・実施計画に従いこのまま順調に推移すれば成果は達成できる見込み。
(4.5) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発	・超音波、電磁場及びその複合処理効果を基礎実験により確認した。 ・実証試験用高周波電源装置を開発した。	[H29] ・スケール対策の年間運用コストを、従来の浚渫もしくは薬注による対策コストと比較し 20%以上低減する。	・超音波発振部、及びその接合部の耐久性を向上するため、コーティング材、並びに使用周波数域の検討を行う。
(4.6) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発	・鉱物学・結晶学的見地ならびに売電継続効果から導入・運用コストを 10%削減するデスケーリング装置の設計指針を作成した。 ・温度計測式モニタリング装置の試作機を開発した。 ・常温で稼動可能なデスケーリング装置を開発し、高温で稼動可能なデスケーリング装置の設計指針を作成した。	[H29] ・スケール除去に関する導入・運用コストの 20%削減を実現する。 ・呼び径 150A までの鋼管を対象として、非破壊で外部からスケール付着厚さを±10 mm の精度で測定可能な温度測定式モニタリング装置を開発する。	・平成 26 年度～平成 27 年度の研究開発における各実施項目は予定通り実施されている。平成 29 年度終了時の最終目標についても、実施計画に沿った室内実験及び現場実証実験を通じて達成できる見込みである。

III.2 個別テーマの成果の概要

(1)環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

(1.1)地熱複合サイクル発電システムの開発

MW級の商用地熱発電を対象に、複合サイクル発電システムの高効率化に資する技術(熱効率を20%以上に向上させる技術)開発を目的として、環境を考慮した媒体の選定、バイナリータービンの開発、超臨界媒体向けの蒸発器・予熱器等の開発、各機器の効率を考慮した複合サイクルの高効率化等の開発を行い、その開発技術の評価を行うことができる実証試験機的设计・製作を行うことを目標に掲げて、平成26年度末までに各事業項目において以下の成果をあげる事ができた。

①環境を考慮した低沸点媒体の選定

低沸点媒体の要求性能と新旧媒体の比較およびランキンサイクルによる熱サイクル効率ポテンシャルの比較から、有望な低沸点媒体を絞り込み、複合サイクルに適する低沸点媒体を選定した。

②選定された低沸点媒体に対する複合サイクル最適化の検討

井戸条件および各要素機器の運転条件をパラメータまたは制約条件としてシステムの最適化を行い、熱効率20%へ到達する複合サイクルのヒートバランスを構築した。また、当該複合サイクルに関して、地熱流体エンタルピに関する出力特性の観点でフラッシュ方式およびバイナリー方式との比較を行い、各々の方式が優位となる条件を明らかにした。

③選定された低沸点媒体の特性に適したバイナリータービンの開発・設計

低沸点媒体で使用可能なバイナリータービンの開発・設計を行った。ヒートバランスに基づきバイナリータービンの通路部性能を検討した。また、3次元翼型の適用検討を行って性能向上を確認した。さらに、軸シールシステム設計を行い、ダブル型ウェット式メカニカルシールを採用することとした。以上の検討成果を元にバイナリータービン計画図を作成した。

④選定された低沸点媒体に対する各種熱交換器の開発・設計

井戸条件に基づくヒートバランスに従い、地熱蒸気、低沸点媒体の特性に応じた最適な熱交換器を計画した。機器制約条件として、道路輸送を考慮した。伝熱促進を考慮し、管外側の熱抵抗を低減させるため、圧力損失が小さく伝熱面積を大きく出来るローフィン管を検討した。伝熱管材料は、耐食性と製造性から、オーステナイト系ステンレス鋼SU S316Lを適用した。プラントを構成する蒸発器、凝縮器、予熱器の機器仕様を決定した。

⑤地熱熱水によるスケール抑制技術の開発

地熱熱水の調査を行い、東北地方の地点Aの水質を基にして、スケール生成能を検討した。還元温度120℃としたときに、地上設備へのスケール生成の懸念があったため、2種のスケール抑制手法を検討した結果、カルシウム結合剤とシリカ分散剤を用いる手法を選定した。90℃の模擬地熱水を用いた3週間の循環試験において、薬剤添加によるスケール抑制効果が確認できた。

⑥複合サイクル発電の実証試験

複合サイクル発電の実証試験に適する井戸条件に従って交渉相手を選定し、粘り強く交渉を進めたが、それぞれに困難な課題があり、所有者の許諾が得られなかった。これ以上探索を続けても、課題を解決できる国内井戸を確保するのは極めて困難であり、かつ見込みがなかった。一方、代替実証試験場所も検討したが、上記同様に課題があり極めて実施困難であった。

表Ⅲ(1.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	2件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①低沸点媒体 の選定	複合サイクルに適する低沸点媒体 を選定した。	効率 20%以上を目標 とした MW 級複合サ イクルの実証	井戸条件が決まれば比較的短時間で 実証設備が製作で きるレベルまで達 成したが実証試験 場所が見つからな かった。当該テー マについては、地 熱複合サイクル発 電システム開発案 件対処検討有識者 協議会を H27 年 4-7 月に開催の 上、実証試験未実 施で契約を完了す る事を決定した。
②複合サイク ル最適化の 検討	熱効率 20%へ到達する複合サイク ルのヒートバランスを構築した。 他の発電方式と比較し、優位とな る条件を推測した。		
③バイナリー タービンの 開発・設計	構築したヒートバランスに基づ き、バイナリータービンの通路部 性能を検討し、軸シールシステム 設計を行った。それら結果を元に バイナリータービン計画図を作成 した。		
④各種熱交換 器の開発・ 設計	構築したヒートバランスに従っ て、選定した低沸点媒体の特性に 応じた各種熱交換器を計画した。		
⑤スケール抑 制技術の開 発	地熱熱水の調査を行い、スケール 生成能を検討した。また 2 種のス ケール抑制手法を検討した結果、 カルシウム結合剤とシリカ分散剤 を用いる手法を選定し、それら薬 剤添加によるスケール抑制効果が 確認できた。		
⑥実証試験	実証試験場所を確保できず、代替 場所を検討したが極めて実施困難 であった。		

(2)低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

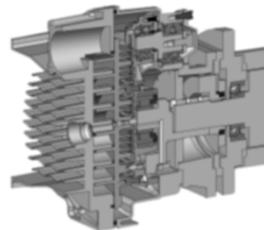
(2.1)無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化

比較的低温少容量の地熱エネルギーを電力エネルギーに変換し有効活用する小型バイナリー発電システムの普及、市場浸透に資する環境保全技術の取り組みに際し、バイナリー発電システムの実証モデルを製作評価するとともに、バイナリー発電装置の性能維持とメンテナンス期間延長のコア技術となるスクロール膨張機の摺動特性を向上させるトライボシステムに関する要素技術を確立し、以下の成果を得た。

- 1) バイナリー発電システムに搭載するスクロール膨張機的设计評価
- 2) バイナリー発電システム製作と評価
- 3) スクロール膨張機に組み込む摺動材のスクリーニング

1) バイナリー発電システムに搭載するスクロール膨張機的设计評価

低沸点媒体が流れるスクロール膨張機内膨張室とスクロール機構の駆動部を分離分割し、低沸点媒体に潤滑油を混合させることなく安定して稼働するスクロール膨張機を設計開発し評価試験を開始した。今後は熱効率7%に資するシステムを確立するために、メカニカルロスの低減を含めた改善が不可欠となる。



図Ⅲ(2.1)-1 スクロール膨張機

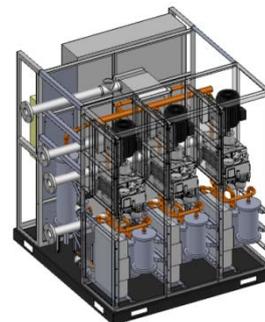
2) バイナリー発電システム製作と評価

スクロール膨張機を搭載したバイナリー発電システムを設計開発し、実際の温泉熱を使った環境での評価試験を開始した。発電システムは、潤滑剤を混合しない低沸点媒体を用いることでランキンサイクル内の媒体循環量が低減し、熱交換効率が向上する。そのため、小型の熱交換器(蒸発器、凝縮器)が搭載可能となった。

今後はスクロール膨張機の最適化を図るとともに、10kW級の普及モデルの製作評価を予定している。



図Ⅲ(2.1)-2 摩耗試験機



図Ⅲ(2.1)-3 バイナリー発電システム内部構造図

3) スクロール膨張機に組み込む摺動材のスクリーニング

スクロール膨張機内で安定したシール機能を司る摺動材の開発について、実態に近い条件で評価可能な摩耗試験機を用い、摺動材と相手材のパラメータを変化させた評価により、最適材料候補を絞り込んだ。最終的には、成形、加工性を考慮した最適材料を用いて実機での評価を得る予定である。

表Ⅲ(2.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	2件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 27 年度末)	達成見通し
①無給油型スクロール膨張機および小型バイナリー発電システムの開発	費用対効果の観点から発電効率 5%程度。	発電効率 7%	機械損失の低下と熱の 2 次利用で総合効率を高めることで達成。
	目標に近いコストレベルに達している。	10 百万円/11kWシステム	達成見込み。
②摺動特性を向上するトライボシステムの開発	材料のスクリーニングが終わり、ラボ評価では可能性を見い出している。	膨張機駆動部： 潤滑油不使用で連続 30,000 時間運転を見通す。 膨張機シール材、潤滑機構： 摩耗量 2.0mm/30,000 時間以下	達成見込み。

(2.2)炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発

未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電の実用化には、スケール対策が必要である。本テーマでは、環境に適したスケール対策法として、炭酸カルシウムスケールを抑制する鋼材の開発を目指した。スケール付着機構及び表面改質によるスケール付着抑制効果の解明と、その成果に基づく耐スケール効果向上目標(スケール付着加速試験を用いて、表面改質による効果が継続する期間におけるスケール付着量をステンレス鋼比で75%低減し、実際の温泉発電プラントの環境にてメンテナンスが必要となるまでの運転期間を現在の使用材料の現況と比較して1.5倍以上に延長する)を達成することを目標にした。そして以下の4点の成果を得た。

- 1)炭酸カルシウムを抑制する鋼の表面改質法を開発
- 2)地熱熱水環境における炭酸カルシウムスケール形成機構をモデル化
- 3)発電プラント環境におけるスケール付着の影響を解析
- 4)発電プラント環境におけるスケール付着に及ぼす物理因子を評価

それぞれの成果を以下に記載する。

1)炭酸カルシウムを抑制する鋼の表面改質法を開発

実験室環境で炭酸カルシウムスケール付着量を定量的に評価できる炭酸カルシウムスケール付着加速試験法を確立した。その試験法を用いて、従来使用されている材料を評価した。そして、スケール付着抑制機構をモデル化した。スケール付着抑制機構を元にスケール付着量が低減されると予測される材料を創製した。炭酸カルシウムスケール付着加速試験において、炭素鋼およびステンレス鋼と比較して表面改質材の付着量を75%削減した。

2)地熱熱水環境における炭酸カルシウムスケール形成機構をモデル化

地熱熱水環境で、試験片を浸漬試験した。その結果、付着量は実験室環境だけでなく実地環境でも差がでることが明確になった。発電プラント環境でスケールに対する対策がなされず使用されスケール除去不可能となり廃棄に至った配管および熱交換器プレートを分析した。そして、スケール形成過程を観察した。その結果、配管を閉塞させたスケールの主成分は炭酸カルシウムスケールであることがわかった。また、熱交換器の部分においてはシリカ系スケールであることを確認した。この分析で得られた知見をもとに長崎県雲仙市小浜町にある3箇所源泉付近で試験片の浸漬試験およびスケールサンプルを採取し分析した。また、その他の温泉地域のスケール付着機構との対応を見るため、滋賀県の温泉において配管を採取し、分析した。その結果、小浜温泉および滋賀県の温泉において配管最表面にはシリカ系スケールが付着し、その後、炭酸カルシウムが付着することを発見した。これらを元に炭酸カルシウムスケール形成機構をモデル化した。

3)発電プラント環境におけるスケール付着の影響を解析

現地における実験を参考に伝熱性能についてシミュレーションした結果、炭酸カルシウムスケールの熱伝導率は極端に悪く、スケールの厚さが1mmオーダーの付着であったとしても1/2以上の熱伝達の性能低下をもたらすと予測される。現地におけるスケールの付着状況から判断すると、3週間の運転においても大幅な伝熱量の低下を引き起こすスケールが付着することが分かった。これより伝熱効率を高く長期間維持するためには、初期段階のスケール付着を抑制することが重要であると想定される。また、熱交換器実験装置のプロトタイプを製作した。今後、実験方法などについて検討する。

4)発電プラント環境におけるスケール付着に及ぼす物理因子を評価

長崎県雲仙市小浜温泉において、運搬式実験設備を用いてスケールの付着様相に影響する物理因子を評価した。

1)~4)からスケール付着面からの最適運転方法を提案できる。

表Ⅲ(2.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	2件	5件	0件	2件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 27 年度末)	達成見通し
①スケール付着箇所 の把握と付着条件の 検討	長崎県雲仙市小浜温泉に おけるスケールメンテナンス 頻度とスケール付着因子をま とめた。	スケール付着因子を整理する。	達成
②スケール形成機構 のモデル化	スケール形成過程をモデ ル化した。	実験室と実地環境でスケール付 着機構を明らかにする。	大幅達成
③スケールと伝熱性 能の関係性評価	熱交換器に付着したスケ ールの詳細解析、スケール付 着速度、スケール付着と伝熱 性能について評価した。	スケール付着が伝熱性能へ及ぼ す影響を評価する。	達成
④表面改質材の開 発およびスケール抑 制機構のモデル化	実験室環境で、スケール付 着量を 80%低減する材料を 開発した。	スケール付着加速試験を用い て、スケール付着量を現行材比で 75%削減する材料を作製する。	大幅達成
⑤表面改質材の実 地試験およびその伝 熱性能評価	耐スケール効果を有する開 発材を用いて実地試験し、ス ケール付着量に変化が見ら れなかった。その要因を特定 した。	実地環境において開発材を試 験する。そのスケール付着状態 を評価し、現行材と比較する。また、 開発材の特性を評価解析する。	達成見込み
⑥スケール付着面か らの最適運転方法の 提案	①～⑤までのデータを元 に、スケール付着面から最適 運転方法を提案する。	実際の温泉発電プラントの環境に てメンテナンスが必要となるまでの 運転期間を現在の使用材料の現 況と比較して 1.5 倍以上に延長 するシステムを提案する。	達成見込み

(2.3)温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発

①研究開発テーマ1：実用的温水発電システムの開発

・温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発

(i) 腐食状況の確認及びスケールの現場での付着実験(担当：株式会社馬淵工業所)

鳴子温泉(宮城)および小浜温泉(長崎)の温泉施設の温泉水槽内に、ステンレス・樹脂・チタン材等合計12種の試験片を両現場でそれぞれ1ヶ月間浸漬し、スケールの付着状況を確認した。鳴子温泉・小浜温泉のいずれも材料依存することなく相当量のスケール付着が見られた。また、鳴子温泉の温泉施設内でのガスの調査、および金属材料の環境大気中への暴露試験を行った結果から、環境大気中の常時ガス濃度は、硫化水素210~650ppb、二酸化硫黄0~8ppb、塩化水素など0~5ppbと予測した。

(ii) 腐食・スケール付着物性分析(担当：株式会社馬淵工業所)

鳴子温泉の温泉施設内にある、貯湯槽連通管に付着したスケールに対して定性分析を行い、カルシウム・鉄・ケイ素・硫黄・ナトリウム等が含まれており、特にカルシウムが多く存在していた。

鳴子温泉の温泉施設にて、熱交換器を78ℓ分で温泉水(温水)と井戸水(冷水)を3ヶ月間通水し熱交換器内のチタン製のプレートの状態を確認したところ、温泉水側は主に温泉に含まれる成分由来の硫化鉄が付着し黒変しており、井戸水側は井戸水に含まれる成分由来の酸化鉄が付着し茶変していた。しかし、スケールの付着による閉塞はなかった。

(iii) 腐食・スケール付着対策の検討と熱交換器の設計要件の確定・設定(担当：株式会社馬淵工業所)

スケール付着実験の結果を踏まえて、維持管理面よりプレート式熱交換器の内部清掃のコストが一般的な水道水利用よりも著しく増大する事が明らかとなり、メンテナンスの容易性からも投げ込み式熱交換器を基本設計の要件とした。耐腐食性・維持管理容易性・熱交換効率等を比較する為、複数の素材・形状の熱交換器を試作し、検討する方向性を確定した。

(iv) 熱交換器の設計・試作(担当：株式会社馬淵工業所)

(i)の腐食性ガス分析の結果から、硫化水素等による腐食に十分耐えうる素材として、SUS304・純チタン340・PPR(ポリプロピレン・ランダム共重合体)を選択した。形状については、維持管理性、コスト面から、フレキ管、直管、トラスコアパネルを採用し、熱交換器を設計・試作した。

(v) 熱交換器の評価＝維持管理性能評価(担当：株式会社馬淵工業所)

(iv)で試作した熱交換器を温泉施設で評価する予定である。

(vi) 耐腐食性の高い可搬型小型発電システムの筐体の検討(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)

発電システムを鳴子温泉の温泉施設に設置し、7ヶ月間観察したが腐食は見られなかった。腐食性ガスが強いとみられる別の施設に移設し、7ヶ月間経過観察時点で発電機本体には、腐食は確認されなかったが、電子機器の端子台等、一部分に腐食が確認された。

(vii) 導入、維持管理コストの評価(担当：株式会社馬淵工業所、アドバンス理工株式会社)

鳴子温泉において、温水発電システムを設置する際に必要となる付帯設備の費用を算出し、導入時のコストについて予備的評価をした。

②-1 スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発 (Phase-1)

・スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの一次試作

(i) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの一次試作の設計・検討 (担当：アドバンス理工株式会社)

スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システム(以下システムという)の一次試作の設

計・検討では、システムを使用する場所の蒸気の温度・圧力より、システムのサイクルを設計し、各構成部品の検討を行った。次に、サイクル検討を行った温度条件から発電電力のシミュレーションを行い、発電端電力において、最高2.5kWとなることを確認した。システムに蒸気を投入する際に、蒸気に水分が多く混入すると蒸気膨張機が故障する原因になると考えられるため、気水分離器を設置することとし、一次試作機として市販のものを選定した。復水器の一次試作は、システムの出口温度が40～50℃になるように、交換熱量が約50kWの市販の熱交換器を検討した。以上の検討結果から、スクロール型蒸気膨張機による発電システムの一次試作のフロー図を作成した。フロー図を基に、蒸気発電システムの全体と各構成部品のモデリングを3D-CADを用いて行った。

(ii) スクロール型蒸気膨張機と発電機の一次試作の設計・製作 (担当：アドバンス理工株式会社)

スクロール型蒸気膨張機の一次試作の設計製作では、(i)の設計・検討を基に、計画図を作成し、3D-CADによりモデリングを行った。作成したモデリングからスクロール型蒸気膨張機の各構成品の加工図を作成し、部品加工を行い、加工部品を組み立てた。組み立てたスクロール型蒸気膨張機の単体の空気圧縮性能試験を行い体積効率、及び全断熱効率を評価したところ、体積効率は90%、全断熱効率は60%であり、体積効率及び全断熱効率とも目標値を達成した。このことから、内部漏れがないこと、吐出圧力が設計仕様通りに製作できたことがわかった。また、発電機は、 3000min^{-1} で約2.5kWの発電出力のものを採用することとした。

(iii) 気水分離器の一次試作の設計・製作 (担当：株式会社馬淵工業所)

気水分離器の設計を行った。サイクロン方式で3種類の外周ガイドと3種類の内筒を設計・製作し、最適な形状の組み合わせを検証した。蒸気と液体を効率的に分離し、市販気水分離器で安定しなかった電力波形が、一次試作機の気水分離器を使うことで安定化した。

(iv) 復水器の一次試作の設計・製作(担当：アドバンス理工株式会社)

復水器の一次試作では、(i)で計算した交換熱量、約50kWに近い市販の熱交換器(交換熱量が約63kW)を採用し、一次試作の蒸気発電システムに組み込んだ。

(v) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの一次試作・動作確認(担当：アドバンス理工株式会社)

(ii) より、1)製作したスクロール型蒸気膨張機、2)発電機の一次試作、3)市販の気水分離器(*1蒸気トラップ内臓)、及び4)熱交換器を蒸気発電システムに組み込み、ガス炊きボイラの蒸気を用いて動作確認を行った。ボイラで作った蒸気により、発電し、電球負荷を点灯することを確認した。

(vi) 一次試作：スクロール型膨張機による蒸気発電システムの性能評価 (担当：アドバンス理工株式会社)

スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの一次試作の性能評価は、復水器出口を大気開放し、試験を行った。発電出力、体積効率、全断熱効率は、それぞれの2.3kW、90%、60%となり目標値を達成した。

(vii) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作の検討 (担当：アドバンス理工株式会社)

(vi)において、一次試作蒸気発電システムは、性能が十分に発揮できていることを確認したため、二次試作では、一次試作の基本的な構造を変更しないまま用いることとし、小型化・簡素化を検討した。

②-2：スクロール型蒸気膨張機と実用的蒸気発電システムの開発(Phase-2)

・スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作

(i) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作の設計(担当：アドバンス理工株式会社)

②-1(vii)の検討において、復水器のサイズの小型のものを選定し、モデリングを行った。

一次試作よりもサイズが小型な復水器を選定し、不要なバイパス配管を取り除き、シンプルな構造とした結果、全高で30%低減することが可能となった。二次試作のフロー図を作成しなおし、3D-CADを用いて、モデリングを行った。

- (ii) スクロール型蒸気膨張機による発電機の二次試作の設計・製作(担当：アドバンス理工株式会社)
②-1(vi)において、基本的な構造において、十分な性能を発揮できることを確認したので、更に性能向上を目的にシール構造の最適化、並び材質の検討を行った。
- (iii) 気水分離器の二次試作の設計・製作(担当：株式会社馬淵工業所)
小浜温泉の温泉施設にて、自噴源泉(噴出圧約0.2MPa)の蒸気(流量約1000ℓ/min)による気水分離器の性能評価を行った。気水分離器周辺配管の設計を含めて、圧力損失の少ない形での蒸気の取出しについて改良を重ね、サイトグラスにより蒸気が分離できていることを確認した。結果として発電出力が増大した。
- (iv) 復水器の二次試作の設計・製作(担当：アドバンス理工株式会社)
熱交換熱量が同等でサイズが小型の復水器を選定した。二次試作の蒸気発電システムにこれを組み込んだ。
- (v) スクロール型蒸気膨張機による発電システムの二次試作・動作確認(担当：アドバンス理工株式会社)
二次試作蒸気発電システムの動作確認を一次試作同様に、ガス炊きボイラの蒸気を用いて行った。ボイラで作った蒸気により、発電し、電球負荷を点灯することを確認した。
- (vi) 二次試作：スクロール型蒸気膨張機による発電システムの性能評価(担当：アドバンス理工株式会社)
小型化した二次試作の性能評価を行い、発電出力、体積効率、及び全断熱効率を評価した。発電出力は約2.3kWであり、体積効率は90%であり、全断熱効率、60%付近まで到達し、全て目標値を達成した。
- (vii) スクロール型蒸気膨張機発電システム単体での実証試験(担当：アドバンス理工株式会社)
計画を前倒しして、蒸気発電システム単体の実証試験を長崎県の小浜温泉にて、実施した。まず、源泉の蒸気が気水分離器を通すことにより、湯き蒸気となることを確認した。その後、蒸気発電システムに源泉の蒸気を投入し、発電し、電球負荷が光ることを確認した。

③-1 研究開発テーマ3：温水・蒸気併用ハイブリッド型発電システムの開発

- (i) ハイブリッドシステムの検討(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)
ハイブリッドシステムを検討するのに先立ち、電力変換装置開発のロードマップを作成した。また、小浜温泉で行う実証実験の方法の検討を行った。
- (ii) ハイブリッドシステムの製作(担当：アドバンス理工株式会社、株式会社馬淵工業所)
平成27年度の計画である。達成見込みである。
- (iii) ハイブリッドシステムの実証性能試験(担当：アドバンス理工株式会社)
平成27年度の計画である。達成見込みである。

④ 事業性・市場性の確保と向上

・事業性・市場性確保のための検討と開発への反映

(i) 事業性検証

事業性について「コストの把握、低価格化の要素の抽出」、「低価格化技術要素の抽出と対応技術検索」、によって、検証を行った。また、事業性向上に向けて、先進地域での事業者インタビューを実施した。調査・検証の結果、事業性に直結するローコスト化に焦点をあて、事業者側の使い勝手を反映した設備の簡素化が必要であることが示され、今後の技術課題を絞り込んだ。

(ii) 市場性検証

インタビュー等を通じて、事業者から本システムの導入意向が示されるなど、小型・分散型を特徴とする本システムが高い市場訴求力を有する可能性があることが確認された。特に小規模の温泉宿泊施設事業者の関心が高いことが示された。

(iii) 開発への反映

上記のインタビュー・検討等により、事業化に向けての一定の可能性を確認した。調査により得られたローコスト化(簡素化)の可能性検証により事業化に向けてのコスト目標値を示し、開発にあたっての目標のひとつとして反映した。

表Ⅲ(2.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成27年度末)	達成見通し
①温水発電システムの腐食・スケール対策を講じた熱交換器の開発	複数の温泉施設でスケール付着実験と腐食性ガスを調査し、熱交換器を試作した。	維持管理費の低減、熱交換器稼働率90%以上を実証する。	目標達成の見込み
②スクロール型蒸気膨張機による蒸気発電システムの開発	実験室で一次試作機の発電出力1~3kWを達成。二次試作機は温泉蒸気での実証実験で最大600W程度の発電を6か月前倒しで達成。	温泉蒸気を用いた現地での実証実験で、1~3kWの発電出力を得る。	目標達成の見込み
③ハイブリッド発電システムの開発	電力変換装置開発を開始し、温泉地でのシステム実証方法を検討した。実用化加速のためスケール抑制採熱手法と発電量最大化技術開発を開始した。	発電出力の最大化により温水発電と蒸気発電で1~6kWの発電出力を得る。5,000千円/1のシステムの実現。	目標達成の見込み
④事業性・市場性の検討と開発への反映	事業者インタビューの実施後、ローコスト化、設備の簡素化等を、開発の目標として反映	市場開拓による普及促進、実用化を前提とした開発への反映	目標達成の見込み

(2.4)スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

平成 26 年度までの成果の概要

①実現可能性調査

湯量が160L/分以上あり、源泉温度が100℃近い源泉を調査して、九州長崎県にある小浜温泉の休源泉と、熊本県阿蘇郡小国町に建設計画中の地熱発電設備の還元水を熱源とする2箇所のサイトを、小型温泉バイナリー発電の実証試験を行う場所として可能性を調査した。

1-A 小浜温泉休源泉

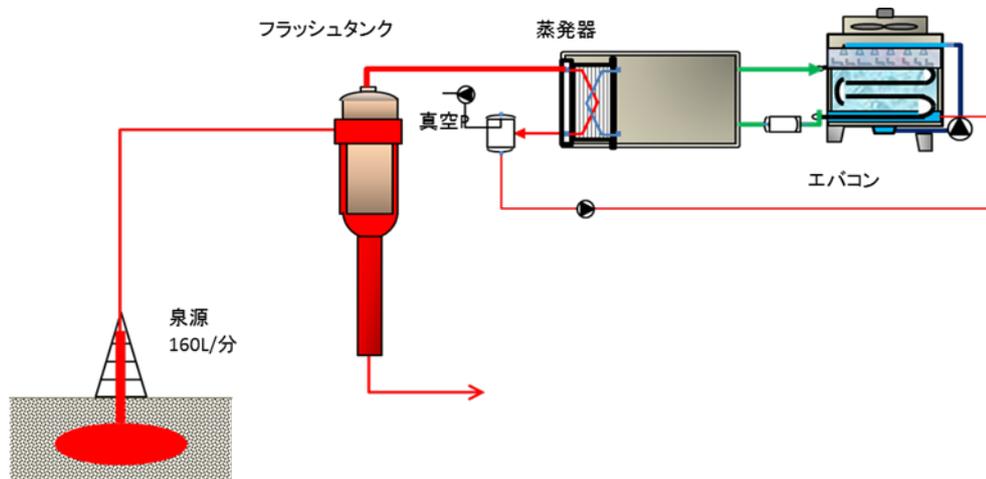


図Ⅲ(2.4)-1 小浜温泉休源泉

湧出量： 500L/分 自噴

源泉温度： 100℃

設置可能なバイナリー発電機：13.66kW × 3台



図Ⅲ(2.4)-2 実証試験設備

設置場所は十分なスペースがあり、休止中の泉源のため、いつでも実証試験が出来る。

1-B 熊本県小国町地熱発電設備還元水



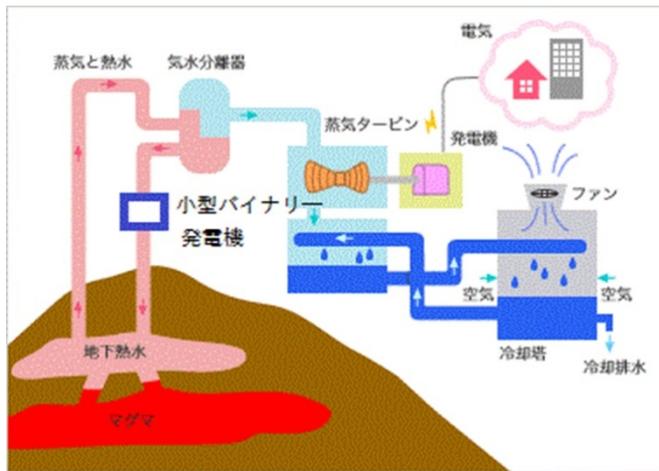
図Ⅲ(2.4)-3 熊本県小国町地熱発電設備

源泉 2 号

湧出量： 800L/分

源泉温度： 200℃

設置可能なバイナリー発電機：13.66kW × 1 台を実証試験として設置可能



図Ⅲ(2.4)-4 熊本県小国町地熱発電設備

地熱発電で発電を行った後の還元水を熱源にすることで、全体の発電効率の向上と経済性の改善に寄与する。

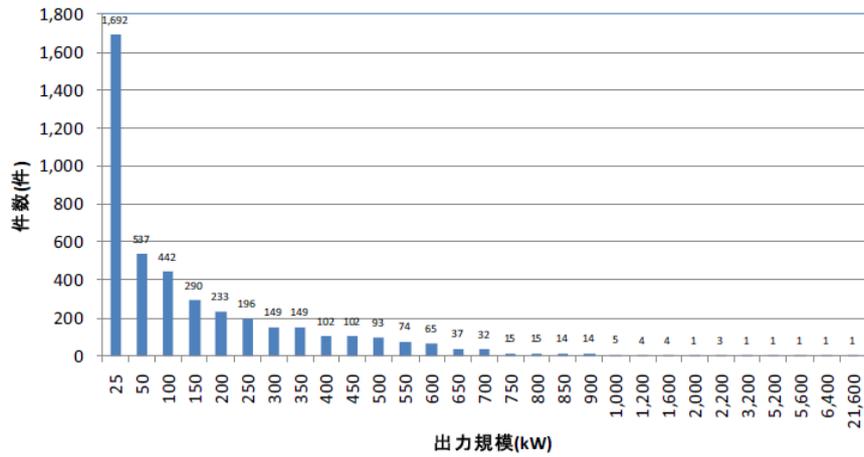
1-C 開発小型バイナリー発電システムの国内市場規模

国内の温泉サイト数等をもとに、バイナリー発電システムの市場性を検討し、開発小型バイナリー発電システムの国内市場規模を想定した。

表Ⅲ(2.4)-1 開発想定バイナリー発電システムの国内市場規模予想

項目	サイト数	提案件数	成約件数	1 台当り単価	市場性(売上額)
温泉熱利用	1000	210	105	7 百万円	735 百万円

160L/分以上の源泉を熱源とする25kW以下のバイナリー発電を設置可能な源泉は全国で1,600以上あるので市場性は十分である事が確認された。

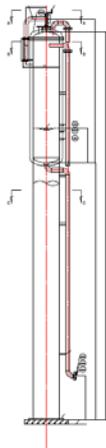


地熱発電研究会資料

図Ⅲ(2.4)-5 出力規模ごとの泉源数

②スケール除去フラッシュタンク開発

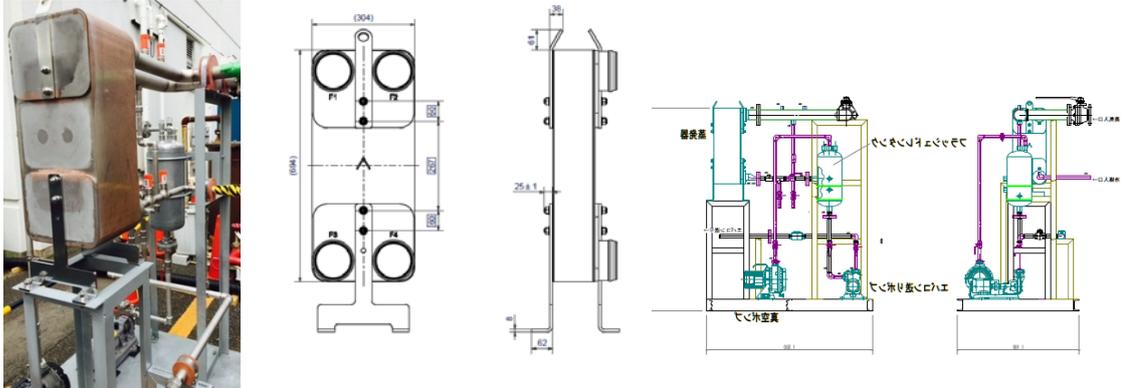
100°Cの源泉から得られる温泉水熱源より85°Cの低圧蒸気を発生するフラッシュタンクを設計し、重力沈降により随伴する液滴の量を最小限にすることで、温泉水に含まれるスケールを発生する成分が熱交換器に移行する事なく、熱源から得られる低圧蒸気を熱交換器に導き、蒸気の凝縮潜熱をバイナリー発電の熱源とするフラッシュ搭を製作した。



図Ⅲ(2.4)-6 フラッシュタンク

③高効率蒸気/冷媒熱交換器開発

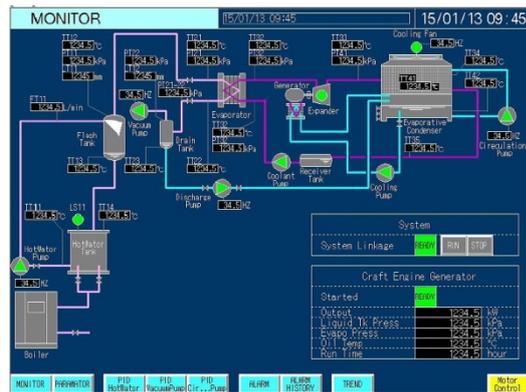
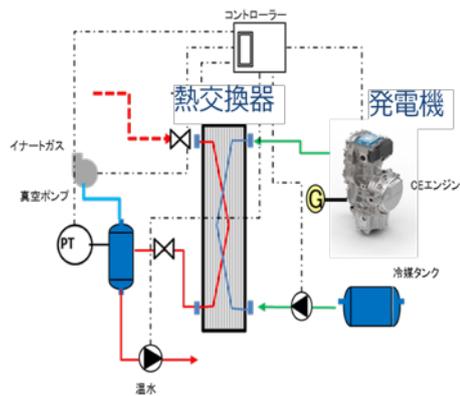
R134a冷媒と蒸気の熱交換器でバイナリー発電の実績が多くある、SWEP社の熱交換器を日本の熱交換器と比較検討した結果選定した。



図Ⅲ(2.4)-7 高効率熱交換器

ドレンタンク・真空ポンプを組み込んで熱交換器ユニットして、市川研究所の試験装置に設置する。

④低圧蒸気制御システム開発



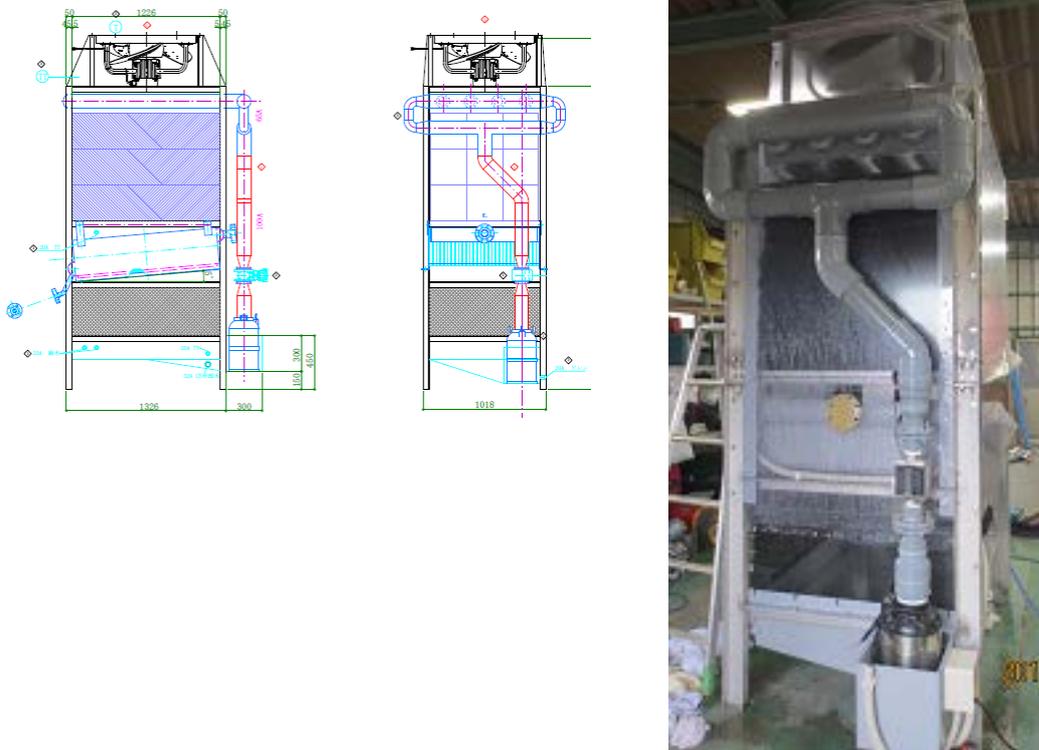
図Ⅲ(2.4)-8 低圧蒸気制御システム

飲料業界で実績のある低圧の曝気システムでの経験を基にして、低圧蒸気のシステム内で不凝縮ガス(温泉の場合CO₂ガスが最も多い)を取り除いて、バイナリー発電の効率を低下させる要因を排除する。

⑤小型蒸発式凝縮器開発

MIRAXのエレメントとプレートフィンを使った小型の熱交換器を組み合わせ、高効率な蒸発式凝縮器を設計、製作した。

工場でメカランをして、水の分配、散布状況を確認した。



図Ⅲ(2.4)-9 蒸発式凝縮器

27年度に於いて性能評価を行うため外部への発表・特許の出願は無し。

表Ⅲ(2.4)-2 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.4)-3 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 28 年度末)	達成見通し
スケール除去フラッシュタンクの開発	各個別設備の製作を完了、研究所敷地内に据え付けして、各設備を連結。発電システム全体としての性能検証に着手した。	発電システムとして、発電効率(熱交換器への温泉熱入力エネルギーに対する発電出力比)7%以上を実証。	開発設備の個別性能確認と、発電システムとしての性能検証、課題抽出中であり、最終目標を達成見込みである。
高効率蒸気/冷媒熱交換器の開発			
低圧蒸気制御システムの開発			
蒸発式凝縮器の開発			

(2.5)環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

①熱交換器シミュレーションによる流体の熱物性値に対する指針獲得

[現在までの成果]

平成26年度、蒸発器および凝縮器の1次元数値解析に基づいた熱交換器シミュレーション手法を構築した。本解析に基づき、液体の熱伝導率が熱交換器の必要長さに対して支配的であり、高熱伝導率流体の開発が重要であることを示した。さらに、平成27年度、1次元解析の検証プロセスについて検討し、作動媒体として共沸混合物(混合液に平衡な蒸気の組成が液の組成と等しい)を利用することで熱物性を系統的に変化させた直管流路における実験データと定量的な比較を行うための準備を進めた。

[平成27年度末想定成果]

熱交換器シミュレーションに基づき、熱交換器のコンパクト化、発電システムの占有面積削減、低コスト化にも貢献するための、低沸点流体の設計指針を獲得する。

②低沸点流体の伝熱性能評価用疑似バイナリー発電システム構築

[現在までの成果]

平成26年度、既設の熱交換器評価実験装置を用いた予備実験を実施した。図Ⅲ(2.5)-1に構築した発電量100W相当の疑似バイナリー発電システムの概要を示す。温水・冷水装置やデータ取得装置などには既設の熱交換器評価実験装置を用い、計測精度・動作安定性の向上のため、流量計をコリオリ式流量計、ポンプをインバーター制御のギアポンプに更新した。本装置により既存の低沸点流体(AE3000)を用いたシステム性能の評価実験を進めた。平成27年度、3kW級のバイナリーサイクル実験装置の構築に向け、流量・温度・圧力などの動作範囲をもとに具体的な設計仕様を決定し、実験装置の製作を開始した(図Ⅲ(2.5)-2)。

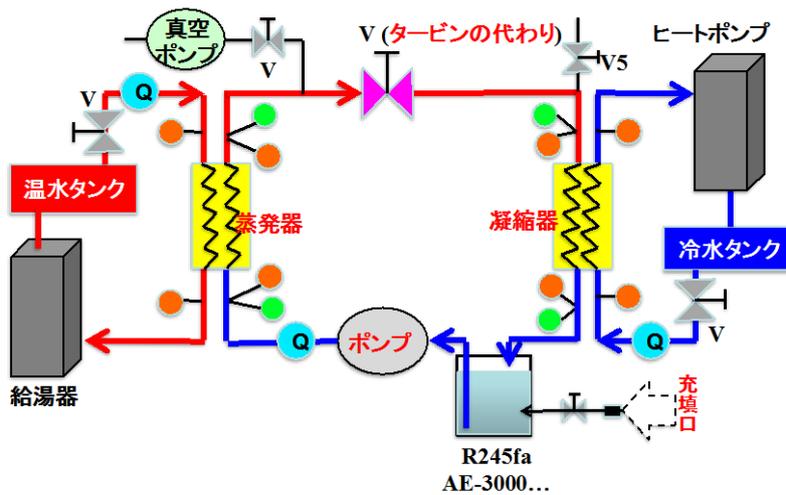
[平成27年度末想定成果]

既設の熱交換器評価実験装置を改良・拡充し、計測精度の向上、動作条件の拡大を図る。また、既存の低沸点流体(例えばAE3000)を用いて、比較データを取得する。



図Ⅲ(2.5)-1 疑似バイナリー発電システム(100W 相当)

3kW級バイナリーサイクル実験装置の概念図



既存流体を想定した作動条件

	R245fa	AE-3000
凝縮時飽和圧	0.178 MPa	0.038 MPa
蒸発時飽和圧	0.610 MPa	0.164 MPa
熱効率	10.2 %	10.2 %
熱効率*	7.11 %	7.19 %
作動流体流量	0.186 kg/s	0.218 kg/s
温水交換熱量	40.1 kW	41.1 kW
冷水交換熱量	36.9 kW	37.8 kW
作動流体充填量	約5 L	約5 L

図Ⅲ(2.5)-2 疑似バイナリー発電システム(3kW相当)

③数値解析を用いた新しいバイナリー発電用熱交換器構造の検討

[現在までの成果]

平成26年度、熱交換器内の複雑な熱流動を精度良く解析するための数値解析技術に対する予備検討を行った。並列計算における効率が高い、CPU数8・コア数64の熱交換器内熱流動シミュレータを導入し、計算環境を構築した。平成27年度、複雑形状流路における気液2相流解析を実施し、熱交換器設計のための解析技術の構築を進めた。

[平成27年度末想定成果]

熱交換器内多相熱流動の数値解析技術を開発し、新低沸点流体を仮定した蒸発器、凝縮器の数値解析を実施する。

④疑似バイナリー発電システムを用いた新低沸点流体のデータ取得

平成28年度までに構築予定のバイナリーシステム・テストベンチを用いて、平成29年度以降開始予定。

⑤コンパクトなバイナリー発電システムの提案

①～④、⑥～⑧の成果を踏まえ、平成29年度下半期に実施予定。

⑥高性能低沸点作動流体の構造設計

[現在までの成果]

現在までに様々な含フッ素化合物に対して培ってきた情報科学的なシミュレーション技法をオレフィン化合物などに拡張するための予備検討を実施してきた。まずは諸物性の推算において最初に重要となる沸点・密度に着目し、これらの物性を精度良く推算するための手法を構築してい

る。

[平成 27 年度末想定成果]

これまでハロゲン系化合物に対して培ってきた情報科学的なシミュレーション技法を、エーテル、ケトン、オレフィン化合物に拡張し、バイナリー発電に必要な物性値、すなわち、沸点、粘性係数、熱伝導度、潜熱、比重などを推算する手法を構築し、①で得られた低沸点流体の熱物性値に対する指針を基に、構築したデータマイニング手法を用いて、新低沸点流体の分子構造の候補を決定する。また、GWP、引火点、毒性を加味した分子スクリーニングを行い、シミュレーション手法を駆使して候補化合物を絞り込む。

⑦高性能新低沸点流体の合成ルートの検討

[平成 27 年度末想定成果]

AE3000の開発などで培った含フッ素化合物合成技術を生かした合成ルートの開発に向けた予備検討を開始する。

⑧高性能低沸点作動流体の物性値評価

平成 29 年 1 月以降に実施予定。

表Ⅲ(2.5)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H27FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.5)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①流体物性値の指針獲得	・熱交換器シミュレーション手法の構築 ・液体熱伝導率が支配的	熱流動特性から要求される物性値指針の獲得	目標達成の見込み
②疑似バイナリーシステム・テストベンチ構築	・既設実験装置を用いた予備実験の実施 ・新設実験装置の設計	疑似バイナリー発電システムの構築	目標達成の見込み
③新熱交換器構造の検討	・計算機環境の構築 ・2 相流解析手法の構築	新熱交換器構造の提案	目標達成の見込み
④新作動流体データ取得	FY29・1Q 以降開始	・新流体の伝熱性能評価 ・既存流体との比較	目標達成の見込み
⑤コンパクトシステム提案	FY29・3Q 以降開始	新流体を用いたバイナリー発電システムの提案	目標達成の見込み
⑥高性能低沸点作動流体の構造設計	・オレフィン化合物などへの手法拡張準備 ・沸点・密度の推算法構築	高性能作動流体の候補構造の決定	目標達成の見込み
⑦高性能低沸点作動流体の合成	FY27・4Q 以降開始	要求仕様を満たす新流体の合成	目標達成の見込み
⑧高性能低沸点作動流体の物性値評価	FY28・4Q 以降開始	・沸点 30～50℃程度, ODP ほぼ 0, GWP100 以下 ・初期的なじょ限量評価	目標達成の見込み

(2.6)水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

20kW級発電システムおよび温排水を利用した実証試験用システムの基本設計を行った。基本設計に基づいてツインエンタータービン、水潤滑軸受、可変ノズル機構等の要素技術開発を組み込んだタービン発電機の詳細設計を行った。20kW級発電装置において、システム送電端で発電効率6%以上を達成するための蒸発器、及び凝縮器の流動条件を決定し、これを反映させた数理モデルを構築した。温排水を利用する発電装置の設置地点を選定し、既存配管における温水および冷却水の温度および流量とその変動状況を調査し、発電装置への温水および冷却水の供給システム実現可能性について見通しを得た。

表Ⅲ(2.6)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.6)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
温泉地での実証試験	設計点における発電設備の基本設計を実施、発電設備の設計/製作を実施	温泉水温度 85℃以下、冷却水温度 15℃で送電端発電効率 7%以上を実証、温泉水温度 65℃において送電出力できる事を実証	基本設計の試算結果から目標を達成する効率が得られる見通しを得た
技術の信頼性、採算性の実証	温度、流量変動による発電設備の出力変動など試算を実施	温度、流量変動への対応、長時間運転時の安定性やメンテナンス性等を評価し、信頼性を確立するとともに、採算性を実証する。	フィールドテスト試験により、信頼性を確立する見込み、また発電設備のコストダウンにより採算性を実証する見通し

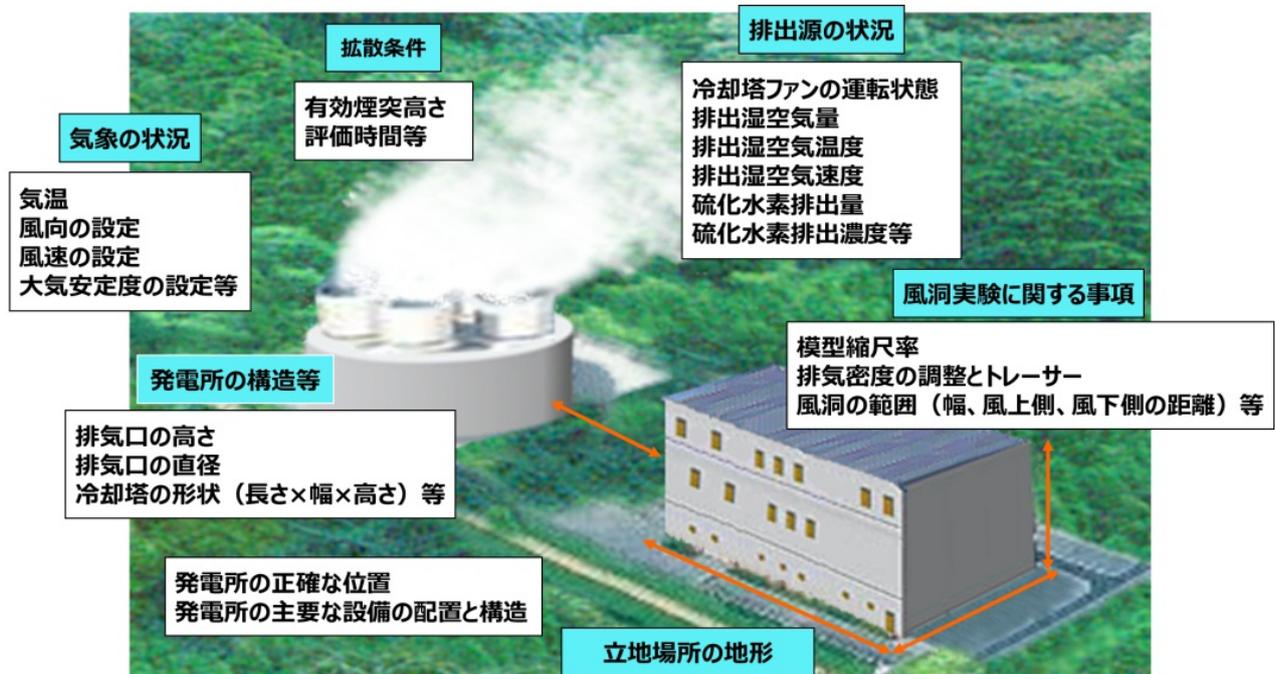
(3)発電所の環境保全対策技術開発

(3.1)硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発

1)硫化水素の拡散挙動の調査

①拡散挙動に影響する因子

国内 7 地熱発電所の修正環境調査書等から拡散挙動に影響する因子を調査・抽出し、拡散挙動に影響する因子を概ね特定した(図Ⅲ(3.1)-1)。



図Ⅲ(3.1)-1 拡散挙動に影響する因子の分類と種類

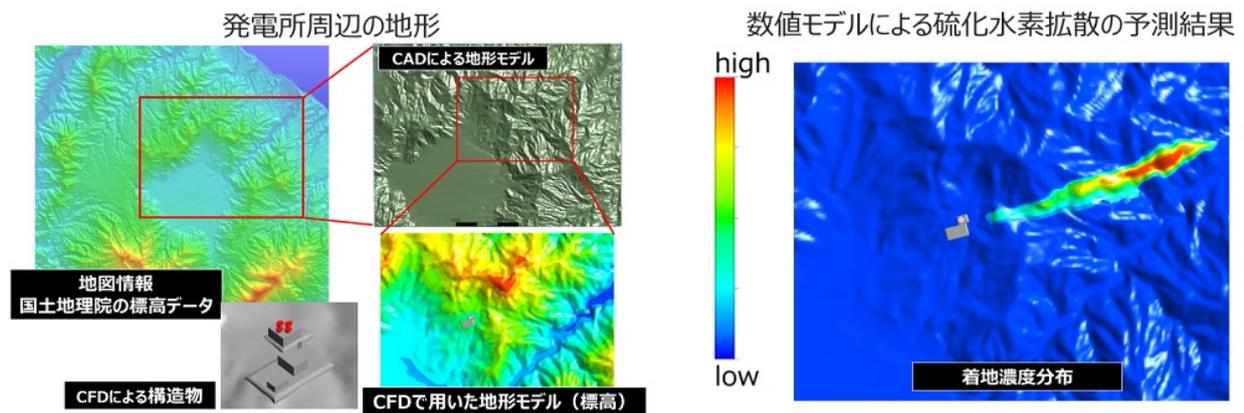
②拡散予測評価シミュレーションモデル構築の予備検討

硫化水素拡散予測数値モデルを構築するための予備検討として、調査した拡散挙動影響因子を基にして、数値モデルで考慮すべきパラメータ等を明確化し、単純形状モデルでのパラメータ影響検討を実施した。

2) 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの構築

硫化水素大気拡散予測の数値モデルを先行事例の風洞実験へ適用して、CFD による数値モデル計算を実施した。その中で、国土地理院の地図情報(標高データ)を用いて、地形情報をCADデータへの変換し、変換したCADデータをCFDへの取り込み、CFDの格子モデル作成及び数値モデル計算の一連の作業が可能であることを確認し、CFDによる数値モデルを構築した。

数値モデルには、地熱発電所の周辺地形と構造物形状を実スケールにて再現して、冷却塔からの硫化水素排出条件、風向風速などの気象条件を考慮した。乱流のモデル化には標準 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いて、硫化水素の拡散状況を計算した。硫化水素の拡散状況として、最大着地濃度と最大着地濃度距離について、数値モデル結果と風洞実験結果を比較した。(図Ⅲ(3.1)-2)。



図III(3.1)-2 数値モデルの適用事例

3) 硫化水素拡散予測数値モデルの性能評価

① 風洞実験計画策定

数値モデルの性能評価のために実施する風洞実験計画を策定した。

(a) 実験対象の策定

風洞実験を実施する地点は、NEDOにおいて地熱開発促進調査が行われた地点を参考として、モデル評価地点を選定した。選定は、開発資源量が1万kW以上、過去の調査で噴気があったこと、その他井戸等の情報(位置、温度、深さ)などがあること等とし、7地熱発電所を調査対象として選定した。

次に、地熱発電所が調査井戸位置に立地されるものと仮定して、井戸を中心に半径3km範囲内の地形を調査し、地形パターンの異なる4地点を実験対象として選定した。

(b) 地形を考慮した風向ケースの策定

地形を考慮した風向ケースの策定は、過去の環境アセスメントにおける風洞実験の風向ケースを参考にして、7ケース(山から谷、谷から山等)を策定した。

(c) 風洞実験の条件設定

模型縮尺は1/500と1/1,000の2通りとし、気流に関する設定項目として、風速・風向、風速鉛直分布、乱流強度と乱流スケール、風洞気流・拡散場の確認手法、気流の測定手法を、拡散実験に関する設定項目として、トレーサーガス、浮力調整手法、拡散実験設定(排気設定)の確認手法を策定した。

表III(3.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

[成果の最終目標の達成可能性]

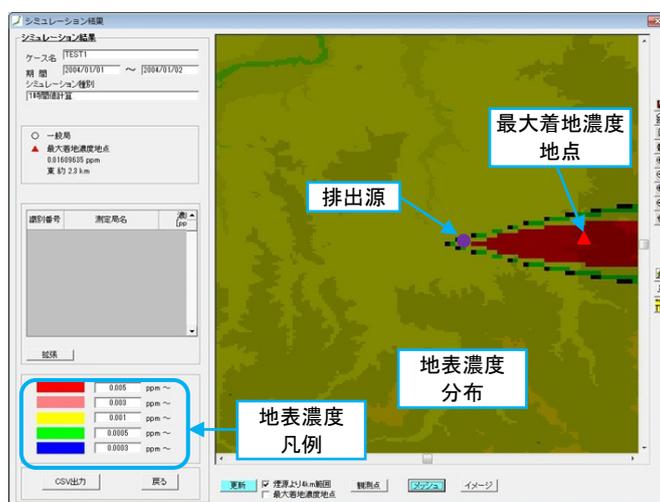
表Ⅲ(3.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 27 年度末)	達成見通し
硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発	地勢データから CFD 計算結果導出までの一連の計算が実施できる数値モデルを構築済み。	硫化水素拡散予測評価に係る期間及び費用について、従来の風洞実験と比して半減する数値モデルの開発	開発する数値モデルを風洞実験結果との比較検証を通じて改良を行うことで達成見込み。

(3.2)地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発

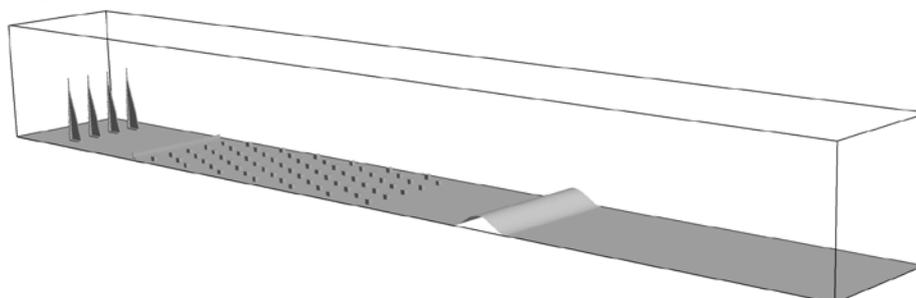
風洞実験の代替として用いることが可能な硫化水素拡散予測数値モデルの開発に取り組み、以下の成果を得た。

正規分布型ブルーム式に基づき濃度予測を行う簡易予測数値モデルの開発では、基本拡散式のプログラミングおよび地理情報システム(GIS)と結合するためのインターフェースの設計・開発を行った(図Ⅲ(3.2)-1)。排煙拡散に及ぼす建屋影響および排煙上昇過程の算出には、電力中央研究所が開発した白煙予測モデルと同等の予測手法を組み込んだ。簡易予測モデルでは、排出諸元の設定や標高データの入力、風向・風速などの各種計算条件の設定などをグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)により簡便に行うことができる。計算結果(硫化水素の着地濃度)は地図上に等濃度分布図として表示され、最大着地濃度やその出現位置が出力される。簡易予測モデルでは、硫化水素の着地濃度のほかに、冷却塔から排出される白煙の出現頻度予測や温度・湿度の予測機能が備わっている。

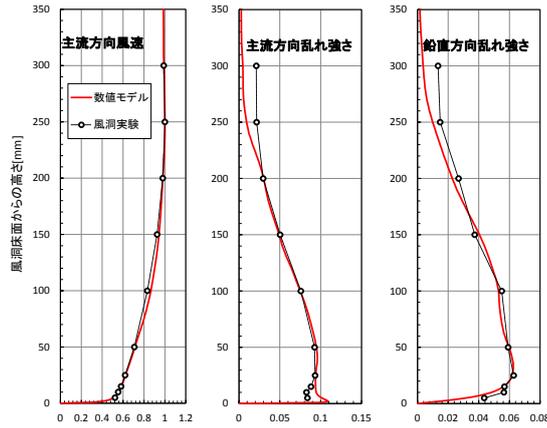


図Ⅲ(3.2)-1 簡易予測数値モデル

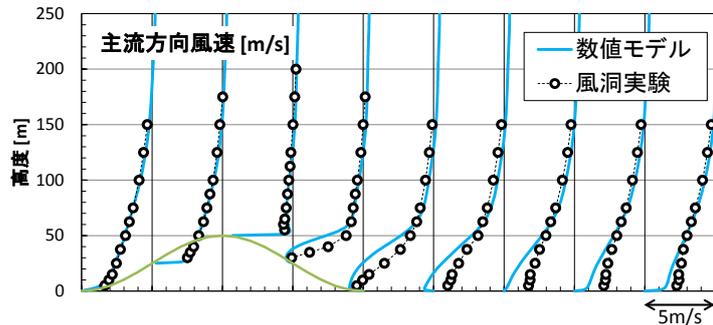
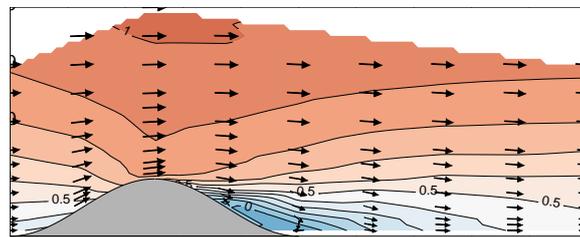
3次元数値流体力学(CFD)モデルにより濃度予測を行う詳細予測数値モデルの開発では、計算に使用する乱流モデルを検討するため、一般に広く用いられているモデルの精度検証を行った。精度検証は、平地および単純地形条件を対象に実施した風洞実験結果を対象とした。風洞内の気流調整用障害物を忠実に再現できる計算格子生成システムを開発し、さらに任意の地形形状を再現する機能を組み込んだ(図Ⅲ(3.2)-2)。平地条件下での気流場を対象に風洞内気流の再現性をテストし、十分な精度で再現できることを確認した(図Ⅲ(3.2)-3)。また、単純地形まわりの気流場および濃度場に対しモデルの精度確認を行い、十分な予測精度を有していることを確認した(図Ⅲ(3.2)-4)。



図Ⅲ(3.2)-2 開発した計算格子生成システムを用いた格子生成結果



図Ⅲ(3.2)-3 平地条件における気流再現性の確認



図Ⅲ(3.2)-4 風洞実験による気流場(上)と詳細予測数値モデルの比較(下)

表Ⅲ(3.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT [※] 出願	査読 付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	1件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 27 年度末)	達成見通し
硫化水素拡散予測数値モデルの開発	正規分布型プルーム式に基づく簡易予測数値モデルおよび3次元数値流体力学(CFD)モデルによる詳細予測数値モデルの設計および基盤部分の開発を行った。	地熱発電所に係る環境アセスメントにおける排ガス拡散予測評価に必要な期間および費用を半減させるための硫化水素拡散予測数値モデルを開発する。	風洞実験との比較検証により数値モデルの予測精度を向上させることで達成見込み。

(3.3)温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

本研究開発は、温泉地において泉質の変動を連続かつ高精度に取得可能なシステムの実現を目指している。これまでの成果と今後の見込みは以下の通り。

【平成26年度末までの成果】

①温泉モニタリング装置の設計

- *東日本を中心とした24の温泉地において、泉質、配管、給湯方法等の詳細調査を実施した。
- *本システムでの使用が可能と考えられる流体モニタリング用センサ(約100種類)の調査を行い、本システムへの適合性について検討した。
- *国内で入手可能なマイコン(約50機種)の調査を行い、本システムへの適合性を検討した。
- *国内で利用可能な有線および無線通信の調査を行い、温泉地からのデータ転送に利用可能なサービスについて検討した。

これらの調査結果をもとに、プロトタイプ1号機 の概念・詳細設計を行った。プロトタイプ1号機は平成27年7月末に完成予定。また、高機能・小型であるプロトタイプ2号機 の概念・詳細設計も開始。

また、スケールの付着が顕著な長崎県小浜温泉(炭酸カルシウムスケール)および岩手県葛根田地熱地域(非晶質シリカスケール)でセンサへのスケール付着実験を平成27年6月から開始した。

②温泉モニタリング装置の試作

- *産総研福島再生可能エネルギー研究所内に、温泉水発生装置、ポンプ、配管、性能評価用温泉水成分分析器等よりなる室内実験装置を設置した。これによりプロトタイプ1号機を使用した性能評価、機能向上を実現可能となった。

【平成27年度末に想定される成果】

①温泉モニタリング装置の設計

- *平成28年度から実施予定の温泉地における実証試験のためのプロトタイプ機の詳細設計を行う。

②温泉モニタリング装置の試作

- *プロトタイプ1号機を用いた室内実験、およびフィールドでのスケール付着試験の結果をもとに、課題の抽出とシステムの改良を行う。
- *平成28年度から実施予定の温泉地における実証試験のためのプロトタイプ機を10台試作する。

③その他

- *本機の実用化および大量生産時(1000台以上)に単価を200,000円程度にできる見込みを明らかにする。

表Ⅲ(3.3)-1 特許、論文、外部発表等の件数

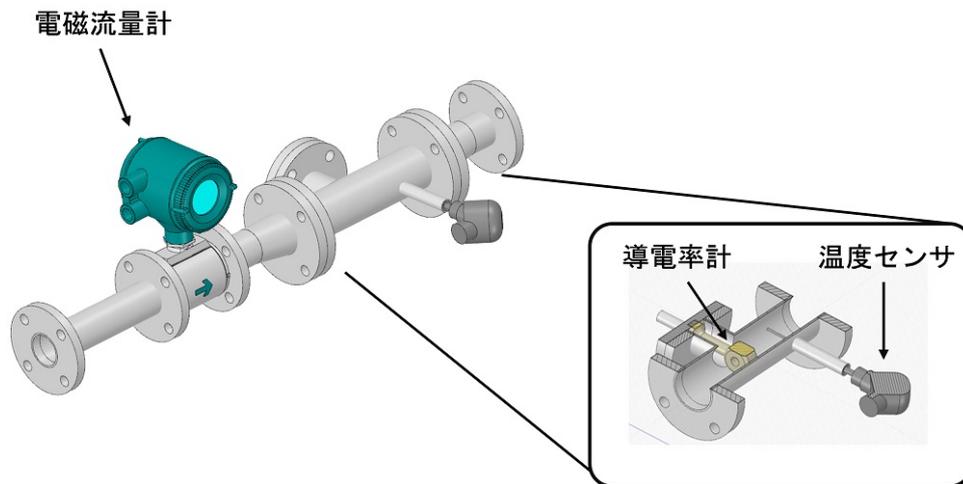
区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

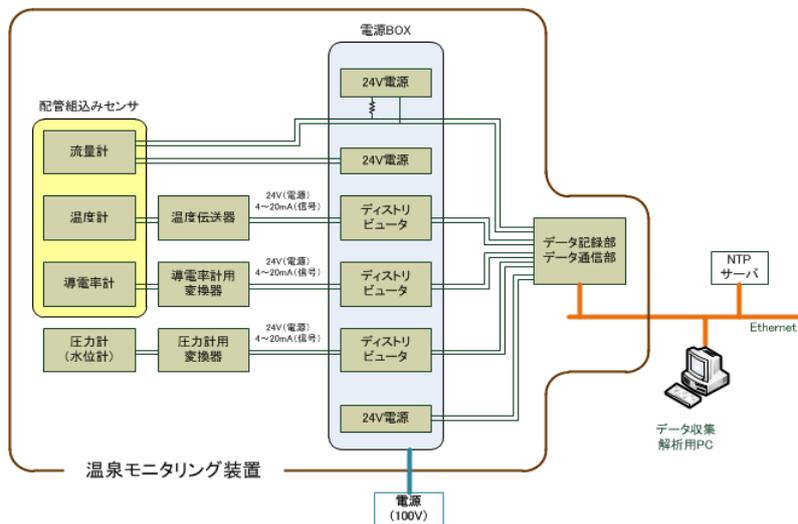
[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

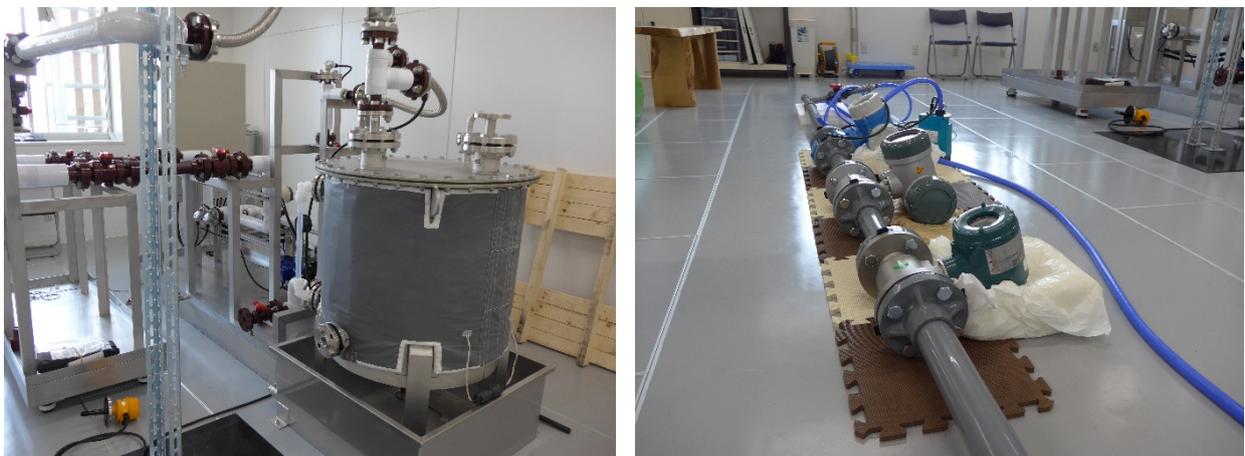
事業項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
①装置の設計	*現状調査、基礎試験を終了。 *プロトタイプ一号機の設計完了。二号機設計中。	*実証試験に使用可能な装置の詳細設計を行う。(FY27上半期で終了する計画)	*当初目標達成の見込み。
②装置の試作	*プロトタイプ一号機が27年7月末に完成予定。	*実証試験に使用可能な装置を10台程度製作する。(FY27末までに完成する計画)	*当初目標達成の見込み。
③実証試験	*FY28からの開始を想定して試験予定地検討中。	*FY28～29に東北および九州地方の温泉で実証試験を実施する。	*当初目標達成の見込み。
④実用モデル設計・試作	*未着手(FY28から開始予定)	*ほぼそのままの形で実用可能な装置を実現する。	*当初目標達成の見込み。
⑥まとめ	*未着手(FY29第3四半期から開始予定)	*実用化へ向けた装置の改良点等を取りまとめる。 *価格削減手段を具体化する。 *導入拡大のための取り組みを検討し、取りまとめる。	*ヒヤリング、コスト試算等を通じて目標を達成する予定。



図Ⅲ(3.3)-1 プロトタイプ1号機(室内テスト用)の外観(センシング部分)



図Ⅲ(3.3)-2 プロトタイプ1号機(室内テスト用)のブロック図



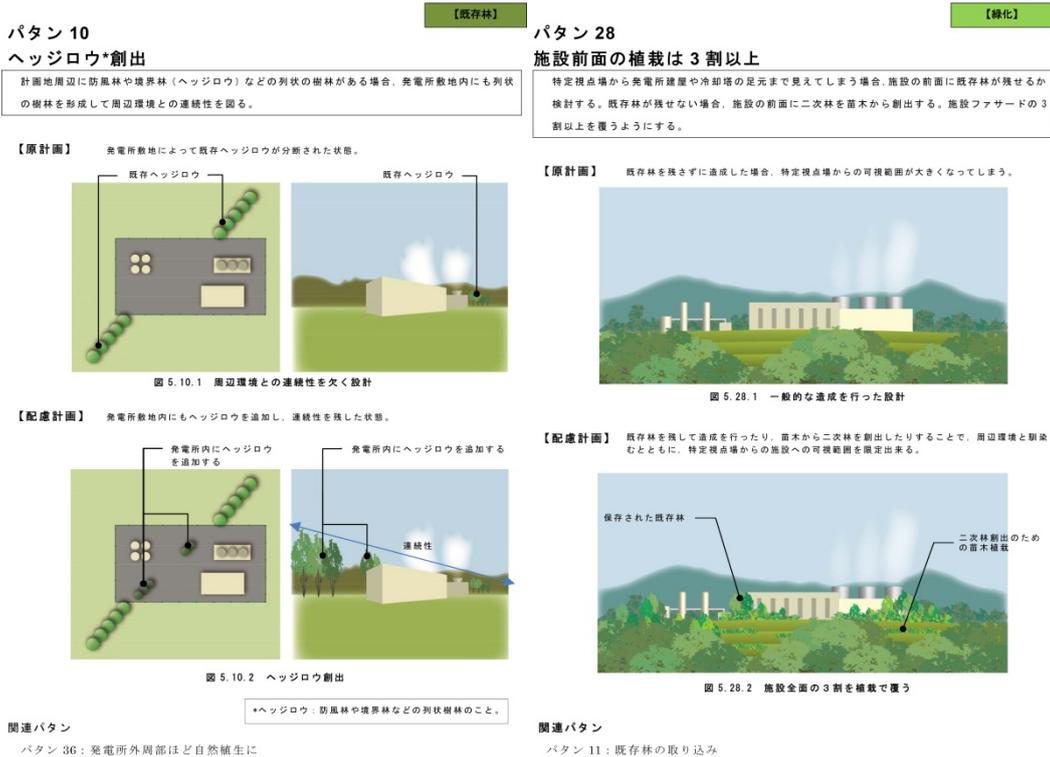
図Ⅲ(3.3)-3 室内テスト装置とテスト用センサ

(3.4)エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発に向けて、エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発と、エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発を進めることで、以下の3つの成果を得た。

①配慮手法パタン集の暫定版

既存の地熱発電所について現地調査や文献による調査を実施し、それぞれの発電所で実施されている自然環境・風致景観配慮手法を、エコロジカル・ランドスケープの観点からパタン化した。この成果については「パタン集」として取りまとめており、今後開発事業者が地熱発電所を計画する際に活用できるように配慮した。自然環境・風致景観配慮パタンの例を図Ⅲ(3.4)-1に示す。



図Ⅲ(3.4)-1 自然環境・風致景観配慮パタンの例
(内容は変更となる可能性があります)

②自然環境・景観分析手法の明確化

自然環境については、GIS(Geographic Information System：地理情報システム)を活用することにより、環境影響評価等で実施される自然環境調査(動物・植物、生態系調査等)の結果に基づき、自然環境の観点での保全重要度を可視化するための分析手法のうち、主題図の選定とデータの加工手順を明確にした。

景観については、現地調査及びコンピュータ・シミュレーションに基づく可視不可視分析を実施し、その結果に基づき、景観配慮で重要となる主要視点場を特定する手順の課題と解決策を見出した。

また、これらの自然環境や景観の分析に基づきエコロジカル・ランドスケープを適用するためのプロセスについて整理した。

③エコロジカル・ランドスケープ支援アプリの要求要件定義の明確化

ケーススタディに適用可能な、エコロジカル・ランドスケープ支援アプリの試用版を開発にむけ、要求要件定義の明確化を行った。

表Ⅲ(3.4)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.4)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成 見通し
①エコロジカル・ランドスケープの適用手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> 既存の地熱発電所現地調査を実施 配慮手法のパタン化を実施 (平成27年度末完了予定) 自然環境分析手法、景観分析手法を開発 (平成27年度中に完了予定) 	<ul style="list-style-type: none"> 配慮手法パタン集の完成 自然環境分析手法、景観分析手法の明確化 	平成28年度以降、ケーススタディを実施することで、実際の地熱発電所開発で適用可能なものとなり、最終目標を達成できる見込み。
②エコロジカル・ランドスケープ支援アプリ開発	<ul style="list-style-type: none"> 試用版を開発 (平成27年度中に完了予定) 	<ul style="list-style-type: none"> エコロジカル・ランドスケープ支援アプリの完成 	
③自然環境・風致景観への配慮手法のツール化	<ul style="list-style-type: none"> 平成29年度以降に対応予定 (当初スケジュールどおり) 	<ul style="list-style-type: none"> 自然環境等配慮のプロセスや支援アプリの操作方法等のマニュアル化(ツール化) 	

(4)地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発

(4.1)低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

地熱資源の有効活用のためのスケール除去技術の開発として、温泉水中に溶解するシリカについて強磁性のシリカフロックを調製する。そのシリカの除去を高速にそして安価に実現するための磁気分離装置の設計および製作とその性能評価試験を実施した。以下の成果を得た。

- ①スケール成分の調査
 - ・ 温泉資源の調査と含まれるスケール成分の分析
- ②スケール除去のための前処理工程の開発
 - ・ 薬剤添加量に関するコスト削減
- ③磁気分離装置の開発
 - ・ 処理量5t/hの磁気分離装置の作製およびその評価試験
(磁気分離装置作製に関しては、磁気フィルタの評価なども含む。)

①スケール成分の調査

前年度の文献調査で温度 80℃以上の源泉を保有すると推定された、全国のうちの主に北海道・東北・関東・九州地方の温泉 33 ヶ所について、源泉の現況、温泉泉質、スケール発生状況を現地調査し、採取した温泉水とスケール試料を化学分析に供した。分析結果に基づくと、温泉水試料は主に Na-Cl 型、Na・Ca-SO₄・Cl 型、Na・Ca-HCO₃・Cl 型泉質であり、SiO₂としてのシリカ濃度は最大 484mg/L を呈した。採取したスケール試料はシリカ系スケール(SiO₂成分：～十数 wt%)と炭酸カルシウム系スケール(CaO と CO₂ 成分：数十 wt.%)に大別され、シリカ系スケールは非晶質シリカと含 Mg 粘土鉱物(スメクタイト系スケール)に細分されると推測されるが、これらの存在比等は今後の課題である。

温泉水からシリカ系スケールである非晶質シリカが析出する過程は、溶解度との関係から次の3つに分類される：(i)温泉水が湧出時に既に同鉱物に対し過飽和状態にあり、湧出時から析出し始める場合、(ii)温泉水が冷却する過程で同鉱物に対して過飽和状態となり、ある温度以下で析出し始める場合、(iii)温泉水が湧出時から冷却するまでの間に常時同鉱物に対して不飽和状態にあり析出しない場合である。温泉発電の下限温度として 70℃を想定し、非晶質シリカの溶解度と比較すると、調査した 2 温泉に(i)の場合が、7 温泉に(ii)の場合が予測された。これに対し、含 Mg 粘土鉱物の生成条件は未だ明らかでないが、前年度の予察調査結果から、非晶質シリカの溶解度より低いシリカ濃度で発生する可能性が予想され、本事業で開発中の磁気分離装置の重要性がより高くなると思われる。また、複数の温泉で温泉水採取静置時におけるシリカ濃度の変化を追跡した。

現地調査で課題であったのは、蒸気卓越の温泉では熱水の採取が困難で、また、注水利用では元の温泉水が採取できず、発電資源として有望であるが、スケール成分の地化学的挙動を検討できない場合があったことである。次年度は、全国のうちの主に中部・北陸・近畿地方の高温泉の現地調査を実施し、温泉発電資源可能性とスケール発生可能性を整理する。次年度の磁気分離装置の試験場所候補として、余剰湯量が多いこととシリカスケールが発生可能性を考慮すると、北海道地方と九州地方の複数の温泉が想定される。

②スケール除去のための前処理工程の開発

本事業では前年度 0.5t/hの磁気分離装置を作製し、評価試験を実施し、鉄系凝結剤でシリカを共沈させマグネタイトの添加でフロックを強磁性化し高分子凝集剤でフロックを包含することにより磁気分離が可能であることを確認したが、薬剤添加量に関するコストを低下させる課題が残された。

これを受けて本年度はコストの低下を一つの大きな目標として取り組むことになり、昨年度に弟子屈温泉から得た情報から実用化のためのランニングコストの目標を 10,000(千円/年)以下として、入手した温泉水を用いてラボスケールの実験を行った。その結果、弟子屈温泉水では PFS(ポリ硫酸第二鉄)の代わりに塩化第一鉄(FeCl₂)溶液を使用することによりその添加量を 0.03～0.05%程度まで低減することが可能であることが検証された。それに伴って pH 調製に必要な NaOH 量も低減可能になった。さらに、マグネタイト添加量も 100ppm(昨年度)から半減させた 50ppm で磁気分離試験での良好な分離性が得られた。

上記した弟子屈温泉水での今年度の成果を基に薬剤コストを、年間薬剤コストとして 6,000～9,000 千

円まで低減可能であることが判明した。

シリカ含有量の高い温泉水にも本手法は有効であるが、濃度が高い場合にはそれに伴い薬剤添加量も増加するためコストも増加すると考えられる。500ppm 前後の高濃度の温泉水に関して塩化第一鉄(FeCl₂)溶液が昨年使用されたポリ硫酸第二鉄よりシリカスケール除去率が高いことも本年度の実験より示された。

③磁気分離装置の開発

当初はラボスケール同様に弟子屈温泉での試験を予定したが、現地の気象条件等から不可能になり、新たな実験サイトとして湯布院温泉が選定された。対象となった湯布院温泉水の特徴としてはシリカ含量が弟子屈温泉水(160～200ppm)と比較して、450～500ppmと高いことが挙げられた。ラボスケールで試験の結果、シリカ濃度を100～150ppm程度に低下させるための薬剤が多く必要なことが判明したが、磁気分離の装置の分離機構の評価試験として処理量5ton/h(実際は200L/2min)の現地試験は湯布院温泉で実施した。磁気分離装置によるSiO₂の除去率は、ラボスケール試験のデータを再現し、流量を100～150L/min(6t～9t)と変化させて処理した場合にも磁気分離としてほぼ良好な結果を得ることができた。

磁気フィルタの線径などは昨年の計算データによって決定されたが、実際の調製された磁性フロックの性状(実験サイトのシリカ濃度が高く、弟子屈に比べ柔らかい)から、流れによってフロックが抜け易かったが、その抑制のためにネット状の磁性細線を使用し、フィルタの配置を検討したことで、フロック抜けのない結果を得ることができた。

磁気分離機構の設計概念として、昨年に温泉中のシリカを強磁性フロックとして共沈後、大きなフロックに関しては、開放勾配磁気分離装置[OGMS: OPEN GRADIENT MAGNETIC SEPARATION](磁石の持つ磁場空間: 分離空間が広い)で処理し、そこを抜けてくる小さいフロックに関しては高勾配磁気分離法[HGMS: HIGH GRADIENT MS](磁石の磁場空間に磁性細線を設置し強力な磁場を発生させる手法: 分離空間は狭い)を使用するという方法を提案した。本年度はOGMSを電磁石で行い、HGMSを永久磁石で行った。HGMSに関しては昨年度電磁石で行った場合、磁場領域が小さいことでフロックが閉塞しやすい問題が永久磁石で磁場領域を広く確保したことで解消された。しかし、フィルタの洗浄も装置を磁場外に出すことで行えることが確認できた。OGMSについては昨年度の永久磁石から電磁石に変更した。変更理由として、OGMSで処理する磁性フロックの量が多いため洗浄の容易さから磁場のON/OFFを重視した。評価試験のフロックの捕捉は十分であった。

以上から処理量5 t/hの磁気分離装置として性能は実用化に向けて進展しているが、連続処理を行うにあたり課題点も示された。

表Ⅲ(4.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	4件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

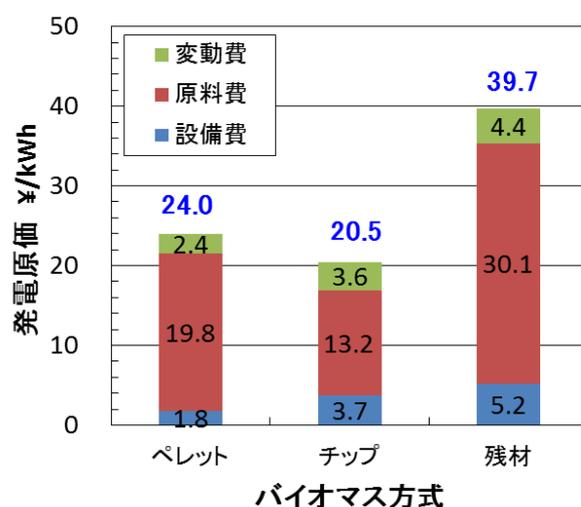
表Ⅲ(4.1)-1 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成27年度末)	達成見通し
①スケール成分の調査	高温泉源約100個の現地調査と温泉水試料の採取分析を行い、温泉水試料のこれまでのシリカ濃度の最高値は484mg/Lである。	温泉のシリカスケール発生の予測方法の指針作成。	達成の見込み。
②スケール除去のための前処理工程の開発	処理速度を上げることにより、フロックが崩れやすくなるため、薬剤の種類・添加量の調整を行って、最適な条件を探している。	安価かつ強度の高い含水率が低い磁性フロックの調製方法の確立。	フロックの調製法とフロックの抜き出し方法などの装置改良の両面から開発を進めている。
③磁気分離装置の開発	出力50kW程度以上の温泉バイナリー設備用磁気分離装置の概念設計をしている。	出力50kW程度の温泉バイナリー設備用磁気分離装置の製作。	最終目標に向け研究開発を進めている。

(4.2)地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発

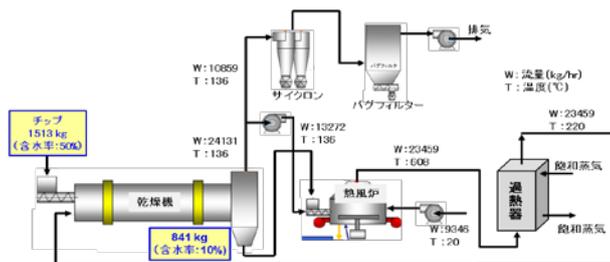
地熱エネルギーと各種外部熱源とのハイブリッド熱源発電システムについて、新設ベースで性能、立地優位性などの観点からシステムの成立性を評価するため、3,000kW 級地熱発電プラントを対象として、要素機器の性能、外気条件などの基準解析条件を設定し、電力中央研究所にて開発したソフトウェア「発電システム熱効率解析汎用プログラム(EnergyWin)」を用いて、ベースとなる地熱発電所の熱物質収支解析モデルを作成した。次に、外部より地熱発電システムに熱供給を行うハイブリッド熱源発電システムについて、蒸気を過熱するシステム、還元熱水を蒸発させるシステムなど、各システムの機器構成を検討し、それぞれのシステムの熱物質収支解析モデルを作成するとともに、それらシステムの熱効率を解析した。その結果、外部熱源によって地熱蒸気をタービン流入前に過熱するシステムが、機器構成が簡素で、且つ高い熱効率を達成できることが分かった。

次に、3,000kW 級ハイブリッド熱源発電システムについて、外部熱源としてバイオマス、燃料電池排熱、太陽熱を利用した場合におけるシステムの特徴、および現時点での克服すべき課題などを整理したところ、バイオマスの燃焼によって地熱蒸気を過熱するシステムが最も実現可能性が高いことが分かった。そこで、外部熱源としてバイオマスを利用する場合において、国立公園内の仮想立地点におけるバイオマスのポテンシャル評価を行い、バイオマスの集積可能量と、運搬やチップ化までを含めた燃料コストとの関係を明らかにするとともに、蒸気過熱器およびバイオマス関連設備の詳細検討結果から、バイオマス種ごとのハイブリッド熱源発電システムによる発電原価を試算し、チップ原料において FIT 価格を下回ることを明らかにした。

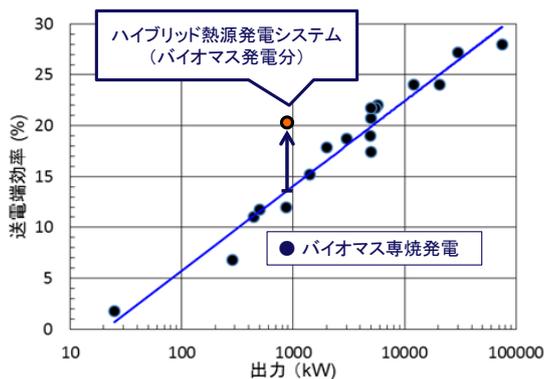


図Ⅲ(4.2)-1 バイオマス種ごとのハイブリッド熱源発電システムによる発電原価

バイオマスを外部熱源とするハイブリッド熱源発電システムについて、技術動向調査などを参考に解析条件を見直すとともに、蒸気過熱器及びバイオマス設備については、実運用を想定した機器性能などを設定し、構築したシステムの実運用時のシステム性能を解析した。解析の結果、バイオマス投入熱量に対する発電システムの増出力量(送電端)で定義される発電効率は、同規模のバイオマス専焼発電システムの送電端効率よりも高く、ハイブリッド熱源発電システムとしての優位性が示された。



図Ⅲ(4.2)-2 バイオマス設備の詳細検討結果



図Ⅲ(4.2)-3 ハイブリッド熱源発電システムの優位性

ハイブリッド熱源発電システムで問題となるスケールの付着量をモニタリングするため、スケール付着量と光ファイバーセンサ透過率の減衰の検討を、炭酸カルシウムスケールを対象にして室内試験及び松代温泉水による野外試験を実施し、炭酸カルシウムスケールの付着量に起因するスケールセンサの透過率の減衰を確認した。

また、シリカスケールの付着量をモニタリングするため、現地試験用の蒸気・熱水セパレータや加熱装置の設計・製作して、室内試験及び澄川地熱発電所による野外試験を実施し、蒸気あるいは熱水からのシリカスケールの付着量に起因するスケールセンサの透過率の減衰を確認した。

また、以下のとおり、外部発表を実施した。

表Ⅲ(4.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H25FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H26FY	0件	0件	0件	1件	0件	7件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 ([]年度末)	達成見通し
①ハイブリッド熱源 発電システムの成 立性評価	バイオマスを外部熱源とする小容量システム(≦数MW)において、商用機を想定した実運転条件下で熱効率 20%以上の性能が得られること、バイオマスとしての発電原価が FIT 価格を下回る可能性があることを確認した	外部熱源による発電設備と、地熱による発電設備とを個々に用いた場合と比較して経済性に優れ、個々の発電能力の合算値よりも高効率かつ熱効率 20%以上のハイブリッド熱源高効率地熱発電システムのフィージビリティスタディを実施する[FY27]	概ね達成 (性能面だけではなく、経済性、運用性などの観点から、外部熱源としての未利用エネルギー活用策について検討する必要がある)
②ハイブリッド熱源 発電システムの実 運転条件の検討			
③スケールセンサー の開発	炭酸カルシウムおよびシリカスケールのセンサーへの付着量に応じたセンサーの透過率の減衰を確認した	スケール成分の付着状況を多点的、且つ経時的に観測できるセンサーを開発する[FY29]	達成の見込み(これまで順調に経時観測試験を実施。多点観測装置の検討にも着手)
④ハイブリッド熱源 高効率発電システ ムの小規模実証試 験	次年度より実施予定	ハイブリッド熱源発電システムの長期信頼性を検証する[FY29]	達成の見込み(技術動向調査なども踏まえ、長期信頼性を検証)

れることを確認した。スケール析出/溶解過程の把握については、マイクロチャネルを用いた実験系および実機の電気分解装置を用いた流動実験系の設計を行い、実験準備に着手した。

③調査研究について

東北地区、中部地区を中心に調査を行い、各条件について情報のまとめを行った。

2)平成 27 年度の成果について

①実証試験によるスケール除去効果の確認

バイナリー発電可能な地域を対象に実証試験評価を行う。また、スケール成分の異なる地域を実証試験場所を選定し、各スケール成分に対する無隔膜式、有隔膜式各々の有効性についてランニングコストも含め評価を行う。

試験評価方法としては、実システムもしくは実システム相当の試験場所に装置を設置し、スケールの付着抑制効果および除去効果を確認する。

②スケール析出・電解水による除去メカニズムの究明および各スケール成分に対する最適電解条件の解明・理論モデルの確立

スケールの主成分である炭酸カルシウム、シリカのそれぞれに対して、基礎実験及び流動実験を行い最適電解条件を確立する。炭酸カルシウムに対してはマイクロチャネルを用いた光学系基礎実験を行い、スケール析出/溶解過程を究明する。さらに実機の電気分解装置を用いた流動実験により最適電解条件を確立する。シリカについても温度、pH 依存特性を考慮し実験を行うことで最適電解条件を確立する。

これらの実験結果とイオン輸送に関する数値計算結果を比較・検討し、モデリングの高精度化を図るとともに、スケールの成長および溶解を予測し得る理論モデルを確立する。

表Ⅲ(4.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H27FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

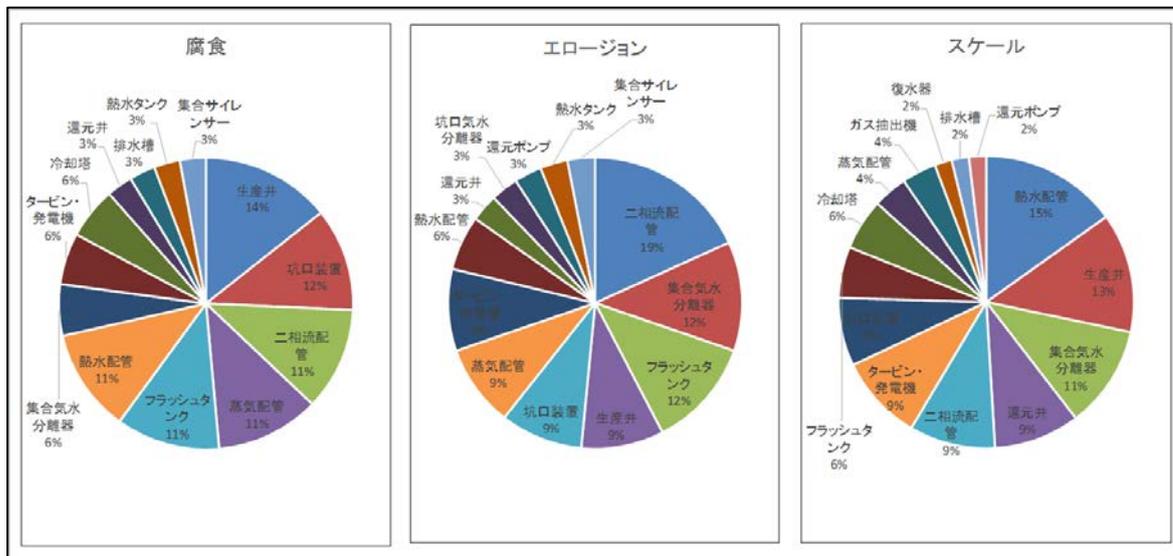
表Ⅲ(4.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
① 基本条件の調査研究開発	伊豆・東北・奥飛騨地区を中心にヒアリング調査を行った。	日本全国の地熱発電が可能な熱源の基本事項を調査しデータ化する。	引き続きヒアリング・文献調査を行うことにより目標達成見込み。
② 適正な電解条件の検討	有隔膜式スケール除去装置の有効性を確認するための基礎実験を開始した。また、スケール析出/溶解の温度依存評価および最適電解条件評価について実験系準備を行った。理論検討については、イオン輸送のモデリングに着手した。	水質の違いに対応した電解条件の明確化及び、スケール析出/溶解の温度依存性、電気分解と地熱水スケール除去との関係を明確化する。泉質の異なる 10 箇所以上の地熱水を用いた実証試験によりモデルの妥当性を確認する。	理論検討については、類似のイオン輸送現象において妥当性が確認できたため、スケール除去についても同手法でモデリングができるとの見通しを得た。最適電解条件の明確化については、すでにラボ実験に着手しており、目標達成見込み。
③ 温泉水の水質(高ミネラル、高温、高圧)に対応した無隔膜電解装置の開発	スケール除去効果を確認するための実証試験を開始した。(試験場所:伊豆地区 2 箇所)新たにスケール付着程度についての実証試験を開始しており、付着防止効果についても確認を行う。	対象地熱水量の目標 300ℓ/min で泉質の異なる 3 箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を 6 ヶ月で約 30%削減すると共に、スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を 6 ヶ月で約 30%削減する酸化物質除去システムを確立する。	H26 年度に実施した実証試験において、スケール除去効果の検証を行っている。今後、泉質の異なる場所での試験を増やしていくことで目標達成見込み。 課題:採算性、装置入水部のスケール対策方法
④ 無隔膜電解による生成物質の分析と腐食性物質の除去方法の開発	基礎実験により、電気分解を行った際に生成する酸化性物質の成分を特定し、その除去方法を検討した。		具体的な除去方法について検討段階に入っている。今後実証試験に組み込み評価を行なうことで目標達成見込み。
⑤ 有隔膜電解による洗浄装置の開発	ラボ試験用の試作機を製作し、評価試験準備を開始した。また、電解で生成した酸性水によるスケール除去効果の確認をするため予備実験を開始した。	対象地熱水量の目標 300ℓ/min で泉質の異なる 3 箇所の実験場所を確保し、スケールによる閉塞率を 6 ヶ月間で約 30%削減する(電解水洗浄 1h/日)とともに、スケール再付着の抑制効果を検証する。また、地熱水を電気分解することにより生成される酸化物質を 6 ヶ月で約 30%削減し、周辺機器への腐食がないことを検証する。	予備実験により有隔膜式電解装置の有効性を確認することで今後、各材質への腐食性、発電システムへの影響の少ない運転システムを検討し実証試験評価を行なうことで目標達成見込み。

(4.4)地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)

①リスク評価システムの開発

国内 20 地点(アンケート調査 16 組織・17 地点+文献調査 3 地点)の既存地熱発電所の損傷事例調査を以下に示す。



図Ⅲ(4.4)-1 日本国内の既設地熱発電所の問題発生箇所(アンケート調査)

さらに、その中から抽出された 8 地点(5 組織)へのヒアリング調査、海外調査(現地調査：ニュージーランド、文献調査 4 地点)により、リスク評価システムで検討すべき事故発生箇所の抽出ならびにシステム評価判定項目の抽出を行い、リスク評価システムのフローチャートを作成した。

②腐食・侵食・スケール付着予測技術の開発

CFD(数値流体力学:Computational Fluid Dynamicsの略)による3次元二相流体流動解析結果を図Ⅲ(4.4)-2に示した。モデルは実際の地熱井におけるケーシングのライナーハンガー部分(坑径が変化する部分)で流速が遅くなった場合に、二相流体の性状がどのように変化するかを部分的に計算した。

その結果、傾斜井(45.2°)において坑径の拡大によって乾き度が変化して重力の影響によってケーシング下面に液滴(乾き度の小さい部分)が発生した。流体の化学成分によってこの分に集中的に腐食やスケール析出が起こる可能性が示唆される。

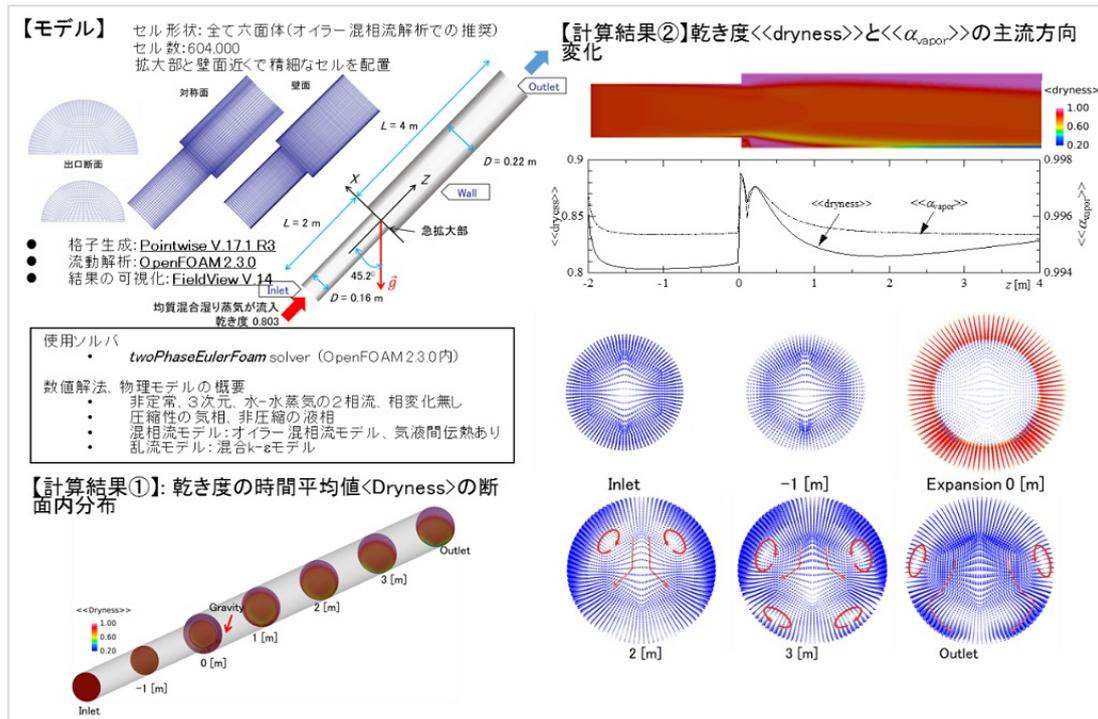
上記の CFD による管内二相流の計算結果と連成させて、腐食やスケール析出の予測を行うため、化学反応モジュールの開発を行った(図Ⅲ(4.4)-3)。H26年度は、化学反応における酸化還元電位計算に必要な化学種別の温度 vs. Gibbs 自由エネルギーの補間式(300K-600K)を求めることで、Pourbaix ダイアグラム(pH-電位線図)のプロットが可能なるツールを EXCEL ベースで開発した。これによって、ある一定の地熱流体の状態が腐食環境にあるのか保護環境にあるのかを判定できる(室内実験・実証試験等で活用予定)。

なお、現在このデータベースを CFD 計算結果と連成させて、流動状態において変化する地熱流体の状態で腐食・スケール付着の予測可能な計算プログラムを開発中である。今後、H27年度後半にツールを完成し、このツールを用いて実際の地熱流体環境下での検証を行う予定である。このような研究成果は世界的にも事例がほとんどなく、H27年度以降に成果を示す予定である。

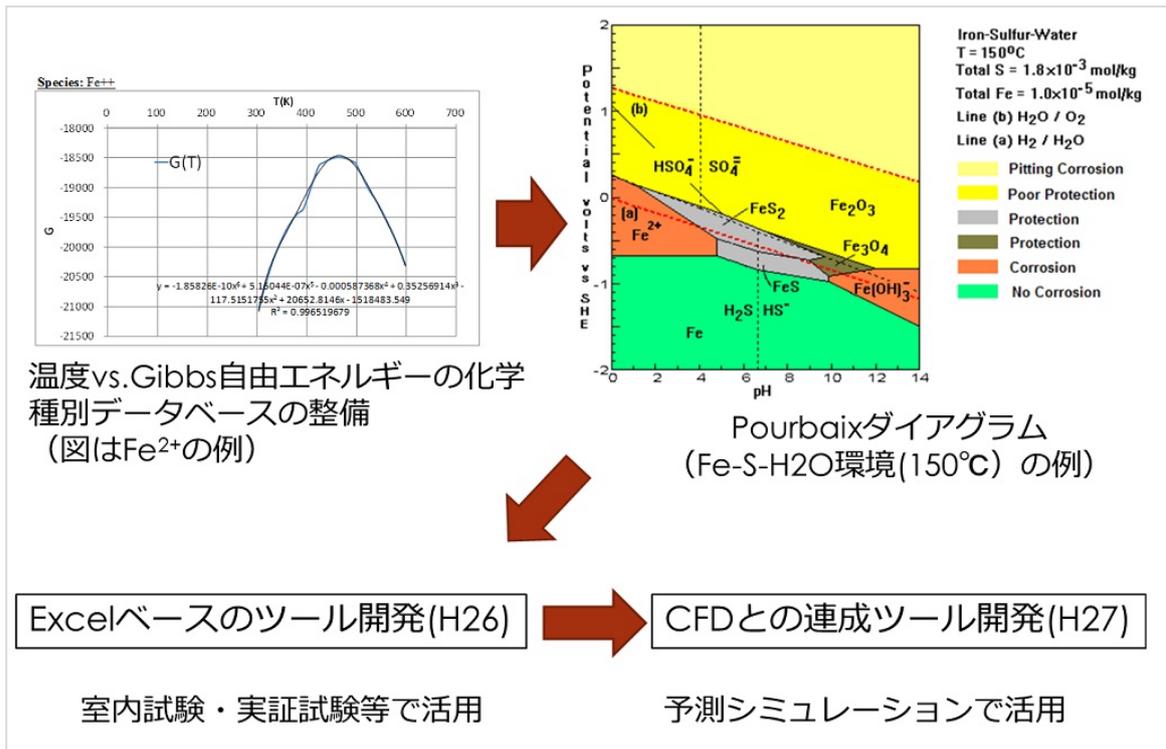
上記の化学データベースでは、スケールの析出対象となる化学物質が不飽和か過飽和か否かで析出可能性の予測を行うが、実際のスケール析出や成長を予測することは困難である。そのため、格子ボルツマン法を用いたスケール成長速度予測ツールを H26 年度に開発した。本研究で用いる

格子ボルツマン法(Lattice Boltzmann Method; LBM) は、流れ場を規則的な格子で分割し、仮想的な粒子を格子に沿って運動させ、そののち巨視化することで、マクロに見た連続体としての流体運動を再現しようとするものである。ただし、仮想的な粒子とは、分子あるいは粒子法で用いる流体粒子とも異なる。この粒子は、密度の分布関数として表され、衝突・並進を時間ステップごとに繰り返すことにより空間的に広がっていく。また、流体の巨視的変数である速度、密度、圧力は、微視的変数である分布関数から計算される。H26 年度はシリカスケールを対象に、上記 CFD と同様、地熱井におけるケーシングのライナーハンガー部分(坑径が変化する部分)で流速が遅くなった場合に、スケールがどのように成長していくかを模擬計算した(図Ⅲ(4.4)-4)。

なお、現在スケール成長速度についての文献調査等から、より適正な条件を求めて予測精度の向上に取り組んでいる。



図Ⅲ(4.4)-2 CFD によるケーシングライナーハンガー部の流動計算結果



図Ⅲ(4.4)-3 化学データベース・電位-pH(Pourbaix)ダイアグラムツールの整備

◎ボルツマン方程式 (外力項無視)
 \mathbf{x} は座標, t は時間, \mathbf{v} は粒子速度, 関数 f は粒子密度の速度に関する分布関数, 添え字collisionの付いた右辺は衝突項

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{collision}$$

◎シリカ鉱物の沈殿速度の式 (Rimstidt and Barnes(1980)の近似式)

$$\frac{dm_{Si(OH)_4}}{dt} = M_{SiO_2} k_+ \left(1 - \frac{m_{Si(OH)_4}}{K} \right)$$

ここで $M_{Si(OH)_4}$ は二酸化珪素の分子量, k_+ および K はそれぞれ、溶解速度定数および反応速度定数

◎シリカ鉱物の付着の経験式(Gentile et al.(2008))

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \frac{225.228}{S^{0.630}} \frac{1}{10^7 \times (276.48 \times 10^{-6})^2} \frac{0.9908}{367.9} m_{Si(OH)_4}$$

1平米あたりのシリカ沈殿量 (mol), S は壁面せん断速度

技術指導: 京都大三ヶ田研究室

図Ⅲ(4.4)-4 格子ボルツマン法による還元井ライナーハンガー部のシリカスケール成長シミュレーション

③材料腐食およびスケールデータベースの整備

産業技術総合研究所東北センターに現存する昭和54年度から平成5年度までのサンシャイン計画成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究」(15冊)、平成6年度から14年度までのサンシャイン計画成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究」(7冊)など合計26冊について情報整理を行った。

国際的な地熱材料腐食・スケールの研究動向調査(調査対象は、地熱および材料腐食に関する論文誌および世界地熱会議などの主要な地熱開発に関する国際会議や材料腐食の国際会議の発表論文)を調査したところ、2003~2014年合計で164件であった。論文誌では、Geothermics、

Corrosion 誌などが多く、国際会議では世界地熱会議 24 件、GRC(米国地熱会議)36 件、世界材料腐食会議で 5 件となっていた。

4 年ごとの内訳では、2003-6 年が 30 件、2007-10 年が 47 件、2011-14 年が 85 件と急速に増加しており、地熱開発での材料腐食・スケール問題の注目度が世界的にも高まっていることが示された。

また、これらの内訳として酸性(Acid)に関するものが 26 件、同様に H₂S について 9 件、CO₂ について 35 件であった。腐食やスケール場所を示すものとして、Turbine(発電機)32 件、Well(井戸)30 件であった。さらに EGS(高温岩体システム)については 11 件であった。このように、酸性流体の問題、発電機における問題、EGS などについて地熱材料腐食・スケールの問題が議論されているのが近年の特色であることが示された。

2014 年 11 月 24 日～26 日、第 36 回ニュージーランド地熱ワークショップに参加した。ワークショップでは 100 件近くの発表があり、地熱材料・腐食に関する発表を 8 件確認した。

④材料選定の研究

東北センターおよび地熱開発会社を対象とした生産井・還元井での腐食(一部スケール問題)に関するヒアリング調査によって、1) 代表的な材料選定データ確認：5 件、2) 実井の評価データの有無調査：12 件、3) 調査候補地選定：アンケート調査で得た生産井・還元井戸(一部地上設備)に関する腐食問題を調査候補地選定の観点から議論し表Ⅲ(4.4)-1 の成果を得た。4) 酸性井の評価：E 社の腐食問題に関し、ケーシングの対応材質はあるものの高価なためにより詳細な検討が必要である(ただし、現在休止しているためデータの採取が難しい)、5) 生産物の相状態と流速の影響：1 件、の成果を得た。

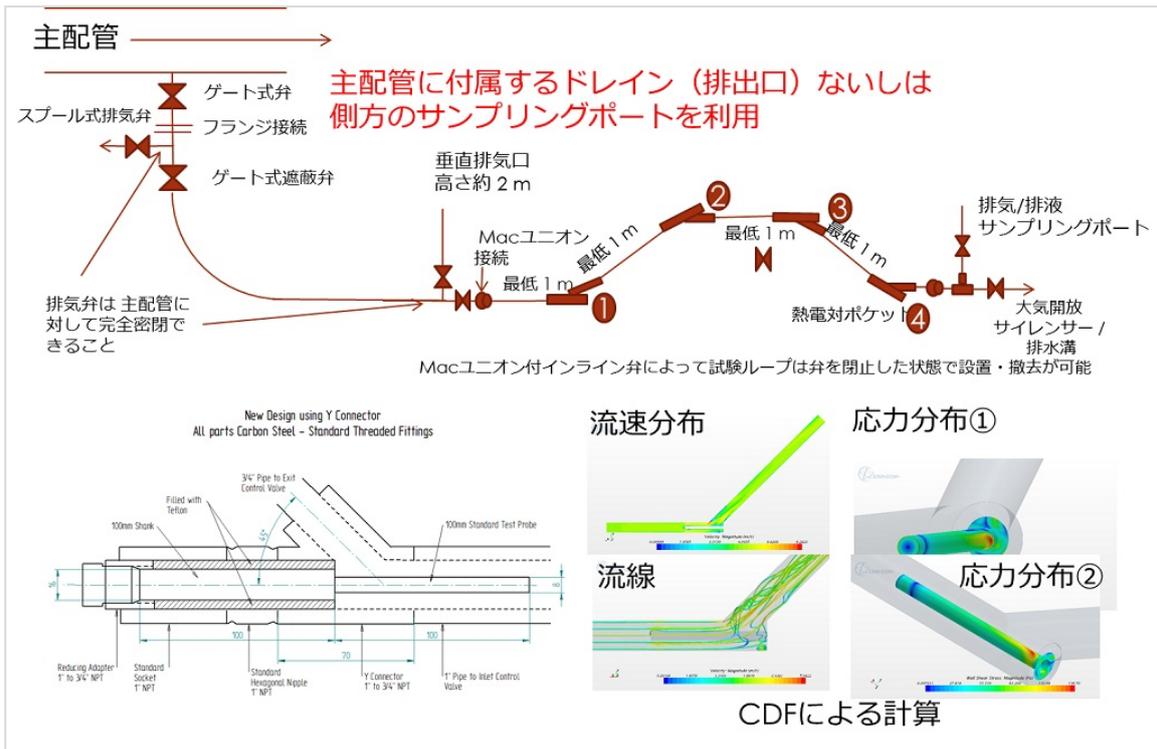
文献調査では、1997 年以降の国際会議論文・文献より腐食関係 108 件(1997-2014 年)抽出した。そのうち、2004 年以降の最新情報 37 件を収集し、評価を行った。

表Ⅲ(4.4)-1 アンケート結果の整理

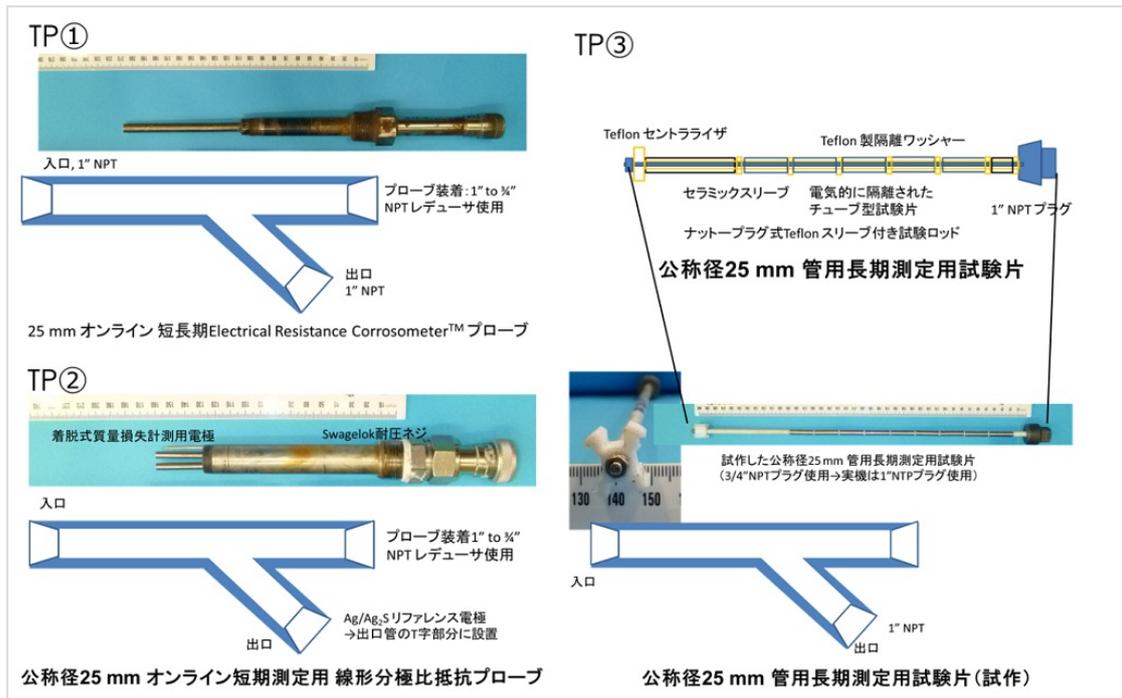
会社名	フィールド名	問題点	検討項目並びに要請項目
A	ア	二相流混合域でのシリカスケール問題をPHコントロールしているが場所的に難しいところがある。	腐食の問題は生産物は弱アルカリで無し。
B	イ	酸性井での地上設備ステンレス配管での応力腐食割れや孔食	今後の開発も含めての酸性井での材料選定
C	ウ	深度1000m付近での穴あき。	TN80SSの効果トレース。適正材料選択
	ウ、エ オ	高温の二相流配管でのピンホール 酸性井でのアルカリ薬注でノズル先端での水酸化鉄析出	定期的な肉厚測定データの開示。 現象整理。
D	カ、キ	エア－掘りによるEROSION	EROSIONと掘削費削減と新たな掘削方法の検討。 定期的に測定している肉厚の開示。
		二相流での地上設備の蒸気ドレンによる腐食とエルボ部やオリフス部のEROSION	岩粉を含む二相流によるEROSION・CORROSION問題は複雑であるがどこまで取り込むか？
		生産井スケール問題。	薬注管の検討。
		気水分離器の鏡板部のエロージョン問題。	容器の設計上の問題で解決。
E	ク	同上 酸性井での腐食問題。10000ppmCl ⁻ 、300C以上は開発しない。	同上 開発のための材料選定。
F(電力会社)	ウ、エ、カ、ク	タービンブレード部へのシリカスケール付着問題を注水で解決。	最近流体性状が安定して注水中止しているがスケール付着無し。どのように安定したのか開示いただけるか？

⑤プラントリスク評価システムのためのモニタリング技術の開発

実証試験において用いる試験用の小口径パイパス管を使用した腐食試験ループ試験装置に設置するフィンガータイプの電気抵抗プローブ、取り外し可能な電極付き直線分極抵抗プローブの設計、選定、試作を行った(図Ⅲ(4.4)-5、図Ⅲ(4.4)-6)。また、スケール厚み計測可能な厚さ計の設計、選定を行った。さらに、材料腐食のモニタリングに関する課題抽出等の調査を実施した。



図Ⅲ (4.4)-5 腐食ループ試験モニタリング装置の設計



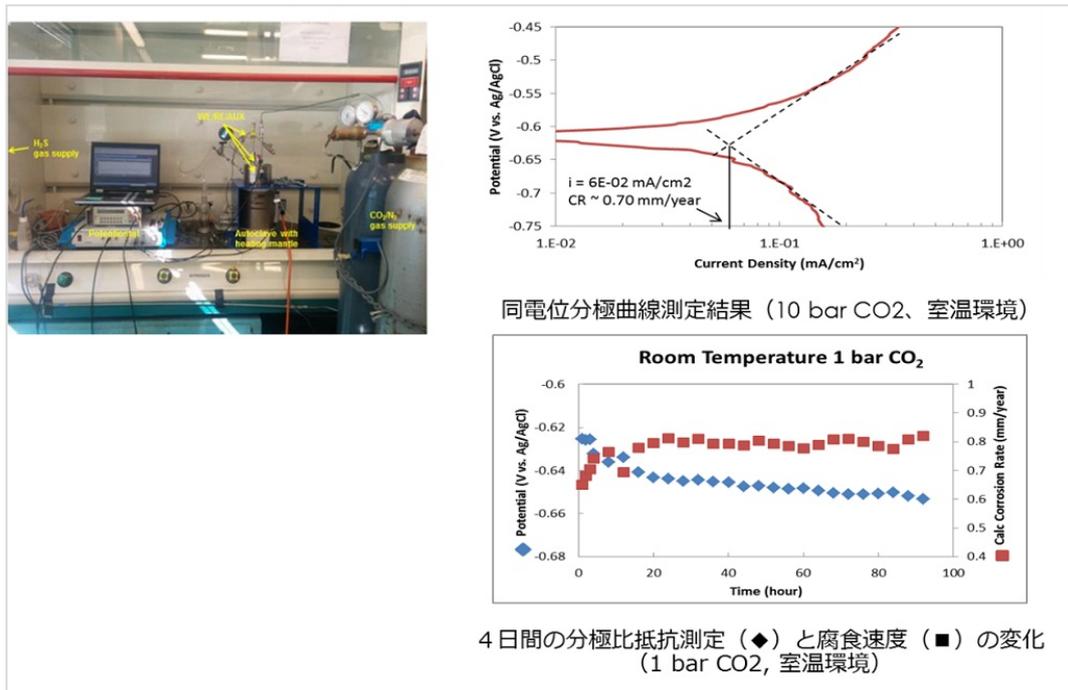
図Ⅲ (4.4)-6 腐食試験用プローブと試験片の試作

⑥地熱発電プラントリスク評価実証試験

室内試験を用いた事前評価法の検討を行った。気体 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ を含有する溶解ガスまたは気相を伴う SO_4^{2-} 起源の再生地熱流体環境におけるケーシング材料の硫化物応力腐食割れ (SSC ; Stress Corrosion Cracking) と水素脆化 (HE : Hydrogen Embrittlement) の評価のため、上記の腐食試験用プローブを用いて腐食環境下での試験を行い、モニタリング装置の性能を確認した。この結果、

実験設備を用いた定性的評価は十分可能であったことから、事前設計段階で室内試験を行い適正な材料選定を推測することが可能であることが明らかになった。⑤、⑥の業務を通じて、実証試験装置の設計を完了した。

なお、現在実証試験装置の製作に取り組んでおり、H27 年度後半に作動試験を行う予定である。



図Ⅲ(4.4)-7 短期試験による腐食モニタリングの実験(設備の写真と実験結果)

表Ⅲ(4.4)-2 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	1件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.4)-3 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
①リスク評価システムの開発	概念設計完了 各モジュール開発中	<p>事前に予測技術とデータベースを用いて行ったプラントリスク評価と提示した対策方法の効果が、実証試験で得られた結果と一致すること。</p> <p>実証試験が可能な箇所において、本研究で開発したプラントリスク評価システムに基づき選定した問題発生への対応策を施すことにより問題発生までの期間を20%以上延長できることを確認する。</p>	<p>平成27年6月時点で工程の遅れもなく、予想通りの成果が得られている。</p> <p>実施計画に従いこのまま順調に推移すれば成果は達成できる見込みである。</p>
②腐食・侵食・スケール付着予測技術の開発	CFD、スケール成長予測、化学反応モジュールの試作完了、化学反応モジュールのCFDとの連成、スケール成長予測精度向上検討中		
③地熱腐食・スケールデータベースの構築	データベース整備中(既存・新規)、データベースシステム設計中		
④材料選定の研究開発	聞き取り調査、新規情報整理完了。現地調査地点の聞き取り、アンケート実施中		
⑤プラントリスク評価システムのためのモニタリング技術の開発	機器設計完了、機器製作中		
⑥地熱発電プラントリスク評価実証試験	機器設計完了、機器製作中 実証試験地点選考中		

(4.5)温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発

①超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果の確認(東北大、テクノラボ、鈴鹿高専)

[H26 年度実施事項]

【目標】

模擬温泉水を用いたスケール析出実験系の構築、材料表面へのスケール付着量測定系とバイオフィーム生成実験系の構築、実験用高周波電磁場発生装置の製作、実験用超音波発生装置の製作、上記実験系の稼働確認と予備実験を行って、基礎的実験方法を確立する。国内温泉地の現地調査を実施し、温泉水の水質分析及びスケール性判定試験等を行う。

【成果】

- ・スケール付着量測定系を構築し、微量な初期スケール付着挙動が測定可能であることを確認した。
- ・バイオフィーム生成装置系を製作した。また、データ取得のための予備実験を実施した。
- ・実験用高周波電磁場発生装置の製作し、100Hz～100kHzの電磁場発生を確認した。
- ・3周波数の実験用超音波発生装置を製作した。
- ・国内6箇所の温泉地の現地調査を実施し、温泉水の分析等から、電磁処理適用メリットを算定した。

[H27 年度実施事項]

【目標】

模擬温泉水を用いたスケール析出実験等の基礎的実験により、超音波処理及び高周波電磁処理、並びにその複合利用によるスケール防止効果の挙動とその有効性を確認する。実証試験及びその評価方法、並びに実証試験用スケール防止装置の諸元を確立する。国内温泉地の現地調査を行い、温泉水の水質分析及びスケール性判定試験等を行う。

【想定成果】

- ・超音波処理及び電磁処理、並びにその複合利用によるスケール防止効果とその有効性を確認する。
- ・超音波処理及び電磁処理、並びにその複合利用によるバイオフィーム形成への影響を確認する。
- ・実証試験用スケール防止装置の諸元を確立する。
- ・国内10箇所(累計)程度の現地調査を実施し、温泉水の分析等を行う。

②超音波及び高周波電磁処理のハイブリッドスケール防止装置の開発(東北特殊鋼)

[H26 年度実施事項]

【目標】

高周波電源及び各プローブの仕様を検討して、スケール防止装置の基本設計を行う。

【成果】

- ・実験用の高周波電源の基本設計を確立し、プロトタイプを製作を完了した。(写真)



図Ⅲ(4.5)-1 実験用高周波電源プロトタイプ

[H27 年度実施事項]

【目標】

超音波及び電磁処理の実証試験用スケール防止装置を製作する。

【想定成果】

- ・強度及び周波数可変型の高出力の高周波電源と、源泉坑井管内でも運用可能な耐熱仕様の超音波及び電磁場発生プローブを開発する。

③ハイブリッドスケール防止装置の実証試験とその運用条件の体系化(東北大、テクノラボ、東北特殊鋼)

[H26 年度実施事項]

【目標】

実証試験実施のための現地調査を行って、実証試験方法の検討と現地との調整を行う。また、過去の電磁処理導入データの分類・整理を行って、データベース構築方法を確立する。

【成果】

- ・中山平温泉等の現地調査を行い、実証試験協力等の了解を得た。
- ・大崎市のNPO法人、及び大崎市役所より、次年度以降の事業協力を合意した。
- ・必要に応じて他のサイトでも実証試験協力の了解を得た。
- ・データベース構築方法を確立し、120件の過去のデータ整理を完了した。

[H27 年度実施事項]

【目標】

国内温泉地の現地調査及びその分析結果から、運用条件の体系化を進め、スケール防止装置導入メリットを具体的に明示する。また、これらから同スケール防止装置の運用条件の体系化を図る。実証試験サイトにおけるスケール付着状況等を実証確認し、実証試験予備実験に着手する。過去の電磁処理導入データからデータベースを構築する。

【想定成果】

- ・国内10箇所(累計)程度の現地調査結果から、スケール防止装置導入メリット等を算定する。
- ・スケール防止装置の運用条件等を明確化する。
- ・実証試験予備実験を行い、データ取得方法を確立する。
- ・累計500件以上のデータベース化を完了する。

表Ⅲ(4.5)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.5)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果の確認	基礎的実験系を確立し、実験データを取得中。	基礎的実験データと実証試験を基に、本物理処理法によるスケール防止効果の理論化を行う。	達成可能である。
②超音波及び高周波電磁処理のハイブリッドスケール防止装置の開発	高周波電源の製作を完了し、基礎実験に使用中。一部課題について検討中。	スケール防止装置の製品仕様を確定する。	達成可能である。
③ハイブリッドスケール防止装置の実証試験とその運用条件の体系化	現地調査及びデータベース化を遂行中。実証試験の準備中。	実証試験及びデータベース等から、スケール防止装置の運用条件を体系化する。スケール対策の年間運用コストを 20%以上低減する。	十分に達成可能である。

(4.6)バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発

配管に付着した温泉スケールを機械的に効率良く洗浄するメカニカルデスケーリング法を開発することを目的として、新手法の経済性評価、スケール・温泉水の分析、モニタリング装置開発のための基礎データ収集、スケール除去装置の小規模な試作品開発を行い、平成26年度は以下の成果を得た。

①経済性及び実用化後の波及効果の評価

新手法開発のメリットによる経済性及び実用化後の波及効果について、従来法および提案法における費用及び清掃頻度を比較検討し、経済的導入可能性を評価した。長崎県小浜温泉を想定して配管長さや清掃間隔を設定したモデルにおいて、従来法及び新手法の各ケースにおける費用、清掃頻度を検討した結果、いずれのケースも将来的に経済的導入可能性の見込みがあることが確認できた。

②スケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析

温泉を対象として、配管各所におけるスケール及び温泉水試料を収集し、観察・化学組成分析ならびに力学試験を実施した。圧裂引張試験および一軸引張試験によるスケールの引張強度の測定を行い、試験片製作および試験方法に関する知見を得ることができた。観察・化学組成分析と力学試験結果より、スケール強度とスケール成長の関係について検討を行った。

③スケール付着計測技術及び装置の開発ならびにスケール除去時期判断手法の開発

スケール除去作業前後のスケール付着状況を計測可能な装置を開発することを目的として、初年度は実験場所の選定および試験装置の準備を行った。計測にむけた現地調査を実施し、装置設置環境や試験条件が良好な小浜温泉(長崎県雲仙市)の源泉設備を試験実施場所として選定した。計測サンプルの準備、および簡易装置を準備するとともに、実地試験場所において配管内温泉の流動を観察した。配管にスケール計測センサを取付け、スケール付前後の計測データを取得した。

④スケール除去装置の開発及び評価手法の開発

デスケーリング装置の試作品として洗浄作業用ホースのプロトタイプを製作した。デスケーリング装置の評価実験を行うための実験場(秋田県湯沢市)の地権者との交渉ならびに使用契約を締結し整備を行った。評価実験場の源泉に設置する簡易セパレータを製作した。大学用実験装置およびスケール除去装置に求められる圧力や流量等の仕様を検討した。

平成27年度末までに想定される成果は以下の通りである。

- スケール及び温泉水の分析ならびにスケールの力学試験結果を基に、鉱物学・結晶学的見地からデスケーリング装置の設計指針を提案する。
- スケール付着状況とスケール除去の効果を非破壊で外部から判断可能な温度測定式モニタリング装置を開発する。
- 常温で稼働可能なデスケーリング実験装置を開発するとともに高温で稼働可能なデスケーリング装置の設計指針を提案する。

表Ⅲ(4.6)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.6)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①経済性及び実用化後の波及効果の評価	経済性及び実用化後の波及効果の評価を行い有用性を見通しを得た。	スケール除去に関する導入・運用コストの 20%削減を実現する。	室内実験及び現場実証実験を通じて、達成見込み
②スケール構造・組成とスケール強度との関係についての検討解析	鉱物学・結晶学的見地からデスケーリング装置の設計指針を提案。	鉱物学・結晶学的見地からスケール除去装置の設計指針を提案する。	室内実験及び現場実証実験を通じて、達成見込み
③スケール付着計測技術及び装置の開発ならびにスケール除去時期判断手法の開発	温度計測式モニタリング装置を開発した。	呼び径 150A までの鋼管を対象として、非破壊で外部からスケール付着厚さを±10 mm の精度で測定可能な温度測定式モニタリング装置を開発する。	室内実験及び現場実証実験を通じて、達成見込み
④スケール除去装置の開発及び評価手法の開発	常温で稼動可能なデスケーリング装置を開発し、高温で稼動可能なデスケーリング装置の設計指針を提案した。	スケール除去に関する導入・運用コストの 20%削減を実現する。	室内実験及び現場実証実験を通じて、達成見込み
⑤研究開発委員会の開催	平成 26 年 12 月 19 日に秋田大学手形キャンパスにて第 1 回研究開発委員会を実施した。	2 回/年程度の頻度で研究開発委員会を開催する。	達成見込み
⑥スケール除去装置の現場性能確認実験(予定)	現場実験に向けた装置開発を実施した。	3 種類以上の工法を用いた現場実験を実施するし、開発した装置の動作確認や効果を検証する。	達成見込み

IV. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

IV.1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

IV.1.1 事業全体の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本事業における「実用化」とは、当該研究開発において開発した発電システムやスケール対策、各種ITツールなどの開発技術が、利用者へ商用に提供されることとする。

開発した発電システムやスケール対策、各種ITツールなどの開発技術の利用者への提供開始に向けての見通し及び取り組みは、以下のとおり。

(1) 実用化・事業化の見通し

①環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

複合サイクル地熱発電については、地熱井の汽水比の特性に合わせた最適なフラッシュ/バイナリー比を設計に織込むことで、地熱資源を最適に利用するシステムを構築することが可能となり、拠点毎の坑口発電の実用化にも資すると考える。

②低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発

事業者が目標とする、11kWで1000万円のシステムはユーザーの関心が高く、開発されれば中小温泉宿でも投資可能(バンカブル)となり導入が進むと考える。また、温泉地の再活性化モデルとして、温泉発電を中心としたビジネスの創出について宮城県鳴子温泉等各地で注目されている。

③発電所の環境保全対策技術開発

硫化水素の拡散シミュレーションについては、経済産業省電力安全課と情報交換を行っており、「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引 平成27年7月改訂(経済産業省 電力安全課)」において奨励ツールとして掲載されれば、環境アセスメントに必須なツールとなる為、実用化は確実である。

エコロジカルランドスケープのツール化が進めば、環境アセスメント検討時に利用を希望する事業者は既に複数あり、今後の地熱発電所立地開発に必携のツールとなると想定している。

④革新的技術開発

スケール対策技術は、発電事業者やスケール対策が負担となる温泉地(長崎県小浜温泉等)において高い関心が有り、コストダウンが目標通りに進めば、採用を希望する事業者は多い。また、小型バイナリーや既存大型地熱に於いても、その技術が利用され実用化する可能性は高い。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

スケール対策技術開発については、可能な限り、実際にバイナリー発電システムの導入可能な温泉、或いは既に計画のある温泉にて実証事業を行い、実地にて問題を確認して、事業化に結びつける。

エコロジカルランドスケープについては、多くの地熱開発事業者らが集まる、JOGMEC(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)成果報告会にて、当該事業の取り組みを紹介するなど、将来ユーザとなりうる地熱開発関係者への情報提供に取り組んでいる。また、既に当該技術の利用希望者が複数いることや環境省が行った「国立・国定公園内の地熱開発に係る優良事例形成の円滑化に関する検討会」においてエコロジカル・ランドスケープデザイン手法の活用が取り上げられる等、業界の期待は高い。

(3) 波及効果

事業性のあるバイナリー発電システムの開発により、国内温泉の対象市場(3kW相当1万台程度)への導入が見込める。また、中小温泉地での地熱資源利用への理解が促進されることで、大規模地熱開発時の円滑な合意形成が期待できる。

1990年代後半からの国内開発の沈滞による技術開発及び若手人材の育成が滞る現状を鑑みると、本事業による研究開発や人材育成等の波及効果が期待できる。

また、小型バイナリー発電システムの研究開発については、未利用熱の有効活用の観点から、工場排熱等の分野にも成果の波及が期待される。

IV.1.2 研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(1.1)地熱複合サイクル発電システムの開発

事業者：株式会社東芝

本研究開発にて開発される地熱複合サイクル発電システムは商用サイズの地熱発電であることから、実証試験が完了した時点で商用プラントのサイクルとして適用が可能となる見込み。実際には地熱資源の規模やエンタルピーにより機器構成が異なるため、地熱井戸の試掘などにより地熱条件が特定された後、機器設計や製作期間を要するが、これまでの研究開発成果を利用することにより、比較的短期間で商用の地熱発電システムを製作可能なレベルまで来ている。また、開発した複合サイクル発電システムのみならず、構成要素であるバイナリーシステム部分も単体システムとして、上記同様の適用が可能である。

(2.1)無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化

事業者：アネスト岩田

本研究開発ではスクロール膨張機をコアコンポーネントとしたシステムの最適化が重要なアウトプットとなる。試験での結果を踏まえて、小型でも連続負荷に耐えうる商用ベースの普及モデルが確立できる見込みとなっている。

取り組みとしては、小型でも更なる高効率化を図るための機械動力の低減、媒体ポンプ動力の低減、熱交換器効率の向上を重点に改良を図っていく。

また、グローバル視点で費用対効果が高い製品供給を図るために、国・地域の特性に合ったシステム要件をまとめ、生産性を確立していく。

(2.2)炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発

事業者：東京海洋大学、エディット、横浜国立大学、長崎大学

本研究開発において、基本技術を開発した。すなわち、初期スケール付着機構を明らかにし、研究室環境で大きなスケール抑制効果が得られる表面改質法を開発した。また、発電プラント環境において開発材を実地試験し、課題を整理することより、実用化への見込みを得た。

(2.3)温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発

事業者：アドバンス理工、馬淵工業所

平成27年度～平成29年度で実証実験と耐久性試験をおこない、課題の洗い出しと解決を行う。課題を解決した装置を平成29年度7月から販売を開始する。平成28年度から、コストダウン活動を開始し、第1フェーズのコストダウンの削減目標を設定し、平成31年3月までに第1フェーズのコストダウンの削減目標を達成した装置を製作し、動作確認、実証実験を行う。

平成31年4月以降にハイブリッド型発電システムの製品化試作機の販売を開始する。

その後、平成31年度～第二フェーズのコストダウン活動を行う。ここで量産化対応のシステムにする。平成33年度に量産システム完成。平成33年度から量産機の販売を開始する。

(2.4)スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

事業者：京葉プラントエンジニアリング

開発されるバイナリー発電システムを用いて、スケール発生成分の多い温泉、ならびに地熱発電所の還元熱水を熱源にして、発電効率、メンテナンス性、経済性を確認する。バイナリー発電として経済性を確保する発電効率7%について、実現の可能性は高い。本実績を元に、発電システムを構成する熱交換器、蒸発式凝縮器、バイナリー発電ユニットについて、それぞれの個別メーカーと共同でコスト削減に向けて、量産仕様の機器を製品化するとともに、地元業者・泉源持ち主においてスケール対策メンテナンスを可能とするシステム商品化を進める。

平成30年度以降に、バイナリー発電の可能性のある温泉施設や還元熱水を利用できる地熱発電施設に対して、発電システムの提案、販売活動を進める。

(2.5)環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

事業者：東京大学、旭硝子

バイナリー発電システムの小型化、高効率化に貢献できる新流体を開発することによって、バイナリー発電の実用化に弾みをつけることができる。本研究開発終了後、新流体試作合成のスケールアップ、実証試験を行って、実用化の検討を進める。

新流体の設計・開発については、旭硝子株式会社における過去の代替フロン冷媒・溶剤開発のノウハウを生かすことができ、実用化・事業化に対する障壁を下げる可以考虑している。現時点で市場が形成されていない新流体の市場規模及び旭硝子株式会社のシェアを算出することは難しいが、本開発により早期にバイナリー発電用流体を開発することにより、高いシェアを獲得できると期待できる。

(2.6)水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

事業者：エネルギー総合工学研究所、アーカイブワークス、東京大学

①温泉発電システム

温泉地における温泉関連施設へ設置する。長崎県雲仙市、大分県別府市、鹿児島県霧島市等から設置希望があり、100℃以下、特に65から90℃の温泉が想定される。

②排熱利用発電システム

60℃程度以上の温水や150℃程度以上の排ガスが得られる工場等が対象となる。

小規模のバイオマス焼却炉用として、長崎県・島原市、長崎県・長崎市、山口県・長門市等の施設に設置希望があり、発電設備が設けられていない小型の焼却炉用が想定される。

③太陽熱利用発電システム

東京都・国際フォーラム、住宅メーカ、太陽熱温水器メーカからの要請あり、大規模ビル、温泉センター、温室等の施設用、小型の住宅用が想定される。

(3.1)発電所の環境保全対策技術開発 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発

事業者：日揮、明星大学

①CFDの計算モデルの選定

山間部の地熱発電所より放出される硫化水素の大気拡散を予測するためには、数値モデル内において、周辺の複雑地形より発生する乱流を計算スキームに組み込むことが重要となる。本事業で適用する CFD モデルでは、そのような乱流をモデル内でどのように取り扱うかによってその種類が大別され、一般に民間企業に広く普及し、各方面で実用化されている RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) モデルや大学等の研究機関を中心に研究のツールとして活用されている LES (Large Eddy Simulation) モデル等が主流である。

実用化に向けては、一般に民間企業に広く普及し、各方面で実用化されている RANS モデルを採用することが普及性に長けていると考えて、本事業では RANS モデルを採用した数値モデルを構築することとしている。

RANS モデルは、流れの中での乱流の平均的特性のみを表現するモデルで、計算対象エリアの平均的(定常)な気流を予測・再現することが可能となっており、計算負荷も小さいことから、短期間で複数の解析を行うことが可能である。

②環境アセスメント手法確立へ向けた取組

開発する数値モデルを実際の発電所の環境アセスメントで使用することが可能となるよう、国のガイドラインである「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引 平成27年7月改訂(経済産業省 電力安全課)」への反映を念頭に置き、外部の専門家からなる有識者委員会を設置し、助言や審議を得ながら進めている。

(3.2)地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発

事業者：電力中央研究所

本研究で開発中の硫化水素拡散予測数値モデルのうち、正規分布型プルーム式に基づき濃度予測を行う簡易予測数値モデルは、地理情報システム(GIS)と大気拡散計算システムを組み合わせることにより、簡便な操作により地形・建屋の影響や排気の上昇過程を考慮した予測が可能であり、発電所計画段階における事前検討やアセス手続きにおける配慮書作成等にも活用が期待できる。また、冷却塔から排出される白煙の出現頻度や温湿度の拡散を予測する機能を統合しており、発電所アセスメントにおいて幅広く利用することができる。モデルの基盤部分となるインターフェースの開発やアルゴリズムの組み込みはほぼ完了しており、実際の地熱発電所での環境アセスメントに適用できる見通しを得ている。

一方、3次元数値流体力学(CFD)モデルにより濃度予測を行う詳細予測数値モデルでは、ベースモデルにラージ・エディ・シミュレーション(LES)を用いており、地形や建屋の形状を詳細に再現した計算格子を作成することにより、風洞実験と同等精度で着地濃度を予測することが可能である。これまで、単純地形を対象とした風洞実験結果との比較・検証により、気流場および拡散場のいずれも十分な精度で予測可能であることを確認しており、実際の地熱発電所を対象とした硫化水素拡散予測にも適用できる見通しを得ている。

本研究で開発した数値モデルを実際の発電所の環境アセスメントで利用することが可能となるよう、技術の公知化を進めるとともに、「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引」(経済産業省)をはじめとした各種規定類への反映を図る。

(3.3)温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

事業者：産業技術総合研究所、地熱エンジニアリング

本研究開発では、研究開発期間終了時(平成30年度末)にほぼそのままの形で長期温泉モニタリングに使用可能な機器を実現する予定である。それと同時に、大量生産時に本装置を20万円程度の価格で販売可能にする見通しを具体的に示すとともに、設計図、ソフトウェア等を可能な限り公開し、自由な市場参加を可能にする。

これらに加え、本装置の大量導入へ向けた枠組みについて検討し、提言として最終報告書の内容に盛り込む。ここでは、本装置により得られた科学的データの解析により、地熱発電と温泉の共存を図るため、

- (i)合意形成のための組織
- (ii)本装置導入のための経費負担
- (iii)本装置により得られたデータの利用法
- (iv)温泉への補償等の枠組み
- (v)必要な法整備

等について検討し、提案としてまとめる。

以上より、本研究開発終了直後に本装置は実用化され、社会受容性向上のために使用されると考えている。

(3.4)エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

事業者：清水建設、風景デザイン研究所、法政大学

ケーススタディを実施することで、実際の地熱発電所開発で適用可能な成果としてブラッシュアップし、地熱発電開発の自然環境、風致景観への配慮に関するプロセスを具体化するとともに、そのプロセスに関する実作業について、開発する支援アプリの操作方法含めマニュアル化することで、地熱発電開発事業者が容易に活用できるようにする予定である。

(4.1)低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

事業者：超電導機構、大阪大学、産業技術総合研究所

これまでのラボ実験および現地試験の結果から、スケールの原因物質であるシリカについて磁気力を利用したスケール除去が有効であるという見通しが得られた。当初は処理能力30t/hの装置の製作を予定していたが、30t/hの装置は分離装置の規模も大きく、磁場発生源(分離部磁石)を大きくする必要があり、経済的でないことが概念設計により明らかになった。そのため、30t/hの装置一台よりも、より容量の小さいシステム(具体的には10t/hのシステム)を複数台設置してトータルとして目的の容量を満足する方が経済的であり、メンテナンス性・安全管理上も現実的となると言う方針を得た。また、小容量のシステムであれば余剰の温泉水量が少ない温泉にも適用でき、本システムの適合地が多くなるというメリットも考えられる。

現状では初号機の製作となるため、装置を大型化するための費用が高額になり、既存のスケール対策であるパイプ交換等と比較しても価格的な優位性を示せていないが、今後はそれぞれの適合地の条件に合わせ装置の小規模化および低ランニングコスト化を行うことでビジネス上成立してゆくとの見通しである。

(4.2)地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発

事業者：電力中央研究所、富山大学

日本国内において地熱発電所を運用している東北電力、九州電力、東京電力などの電気事業者に対し、将来的にハイブリッド熱源発電システムの開発に着手してもらえるよう、同システムの優位性を説明したところ、「数MW級小容量機において、ハイブリッド熱源発電システムの優位性が示されたが、電気事業としては、生産井の減衰に起因する数万kW級設備の利用率低下が深刻であり、本技術を応用したプラント出力の回復に貢献しうる技術の研究開発にも期待したい。」とのコメントを受けた。そこで次年度以降は、高効率化および増出力化を狙ったハイブリッドシステムについて、実機を想定した研究開発を推進するとともに、電気事業への理解促進を目的としたヒアリングを継続して実施し、ハイブリッド熱源発電システムの電気事業における商用化を目指す。また、スケール防止を目的としたヒアリングについても継続して実施し、蒸気設備や熱水配管へのスケールセンサ設置を可能にする商用機器の開発を目指す。

(4.3)電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発

事業者:イノベティブ・デザイン&テクノロジー、静岡大学

本技術は薬剤を一切使用せずスケール除去・付着防止が可能である。

このため、地熱水の有効利用(発電後の温泉施設等での再利用)、および環境負荷の点を考えると広く受け入れられやすい技術であり、普及が期待できる。平成26年度までの実証試験の結果、工業用循環水向けスケール除去装置と同方式の試験機で、地熱水および地熱スケールに対して電解水によるスケール除去が有効であるという見通しがついた。また、スケール付着抑制効果についても実証試験を開始しており有効性が確認できる見通しである。

加えて、スケール除去・付着抑制が期待できる有隔膜式スケール除去試験装置を製作し予備試験を行った。

その結果、有隔膜式スケール除去装置がスケール除去に有効である見通しを得た。こちらの装置についても、今後実システムでの実証試験を行い、有効性を確認する予定である。

今後、上記2方式について、それぞれ実証試験を行い地熱スケールへの効果、採算性を比較することで、よりスケール除去・抑制効果および採算性に優れたスケール対策用スケール除去装置の開発を目指す。

(4.4)地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)

事業者:地熱技術開発、産業技術総合研究所、エヌケーケーシームレス鋼管

フィリピンで地熱開発・発電所操業(設備容量1,159MW,2014年12月現在)を行っているEDC(Energy Development Corporation)より、同社の酸性生産井ならびに地上設備における腐食進行の予測ならびに対策としての中和剤の坑井内注入に伴うスケール付着予測の研究に関して、開発中のシミュレータ利用の可能性についての問い合わせが来ており、平成27年7月中旬に第1回の打合せを行う予定である。フィリピンのような地熱資源大国でもこのような技術のニーズが確認されたので、具体化すれば、今後実施する計画の国内の地熱発電所での実証試験と並行して国外での実証を進められるため、市場開拓と成果普及のための大きな推進力となることが期待される。

(4.5)温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発

事業者:東北大学、東北特殊鋼、テクノラボ

研究開発が先行している電磁処理については、平成26年度までの現地調査及び試験結果から、温泉水に対して単体処理でも十分に有効性を発揮し得る見通しが得られた。例えば、高出力の電磁処理の適用だけでスケール防止が可能な温泉源泉や、電磁処理と薬注の併用により、現状の薬注量を1/4~1/5程度まで低減できる事例が確認され、一部実用化も始まっている。また、バイナリー発電に付帯する冷却設備におけるスケール対策としては、現段階でも電磁処理単体でも実用運用が可能であり、既に導入が具体的に検討されている発電設備もある。本事業の成果より多様な温泉水に対して電磁処理の適用範囲が拡大すれば、普及に弾みがつくと考える。

超音波処理法については、基礎実験から、非常に高いスケール防止効果を有することが確認された。本研究開発事業では実用化に比重を置いて、投入エネルギーの抑制及び装置耐久性の向上の観点から、超音波のパルス照射を試み、可能な限り短い時間で、且つ低いエネルギーでスケール防止効果が得られるよう検討を重ねている。

本事業において、これらの2つの処理法の複合効果の確認と実証試験等を実施することで、コストパフォーマンスに優れた革新的なスケール対策物理処理技術を確立できる見通しである。

(4.6)バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発

事業者:秋田大学、管通、東北大学、東京海洋大学

平成27年度までに実施した予備実験及び現場実験の結果、以下の見通しを得た。

非破壊で外部からスケール付着厚さを測定可能な温度測定式モニタリング装置を開発し、長崎県雲仙市小浜温泉実験場において約2.5ヶ月以上の長期スケール付着モニタリングに成功した。また、同装置を用いてスケールの付着有無を判断できることを確認し、平成27年度時点の目標をほぼ達成した。現在、実用化に向けて3ヶ月以上の長期モニタリングの実施に取り組んでいる。平成28年度からの連続モニタリングによる装置の検証と改良により事業終了時(平成29年度予定)における目標達成の見込みを得た。

秋田県湯沢市実験場において、抗井内噴気状況でのジェット洗浄実証実験(図IV(4.6)-1)ならびに二相流仮設配管噴気状況でのジェット洗浄実証実験(図IV(4.6)-2)に成功し、温泉熱水蒸気二相流中での稼働が可能なデスケーリング装置の実用化に向けての見通しを得た。現在、同装置の実用化に向けての課題抽出ならびに耐熱性や耐久性等の実用上重要な点についての装置改良に取り組んでいる。



図IV(4.6)-1 抗井内噴気状況でのジェット洗浄実証実験状況



図IV(4.6)-2 二相流仮設配管噴気状況でのジェット洗浄実証実験状況